

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»
(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А.І.Жученко
«__» _____ 20__ р

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки 6.050202 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: Автоматизація процесу керування зоною гартування у виробництві
технічного вуглецю

Виконав (- ла): студент (- ка) 3 курсу, групи ЛА-зг61-1
(шифр групи)

_____ Конончук Олена Василівна _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник _____ к.т.н., доцент Козаневич З. Я. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант Охорона праці _____ к.т.н., доцент Ковтун І. М. _____
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному
проекті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань
Студент _____
(підпис)

Київ - 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет
(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Конончук Олені Василівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: Автоматизація процесу керування зоною гартування у виробництві технічного вуглецю _____

керівник проекту _____ к.т.н., доцент Козаневич З. Я _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом проекту _____

3. Вихідні дані до проекту Розробити схему автоматизації процесу керування зоною гартування у виготовленні технічного вуглецю; розрахувати теплові баланси для окремих акумулювальних ємностей; визначити передавальні функції та перехідні характеристики за каналами керування та збурення; встановити параметри налаштування регулятора та дослідити допущення про вплив типу представлення втрат тепла на динамічні характеристики ТОК _____

4. Зміст пояснювальної записки Математичне моделювання зони гартування; передавальні функції та перехідні характеристики за каналами керування та збурення; синтез та дослідження системи

керування; система автоматизації отримання та уловлювання технічного вуглецю; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) _____ Схема автоматизації технологічного процесу отримання аерозолі та уловлювання технічного вуглецю, принципова електрична схема дистанційного керування електричними двигунами, монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування та технологічних блокувань _____

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доцент Ковтун І.М.		

7. Дата видачі завдання: _ 15 квітня 2019 року _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз процесу виробництва технічного вуглецю	15.04.2019	
2	Отримання математичної моделі керування зоною гартування	23.04.2019	
3	Постановка задачі автоматизації	24.03.2019	
4	Дослідження статичного режиму зони гартування	30.04.2019	
5	Лінеаризація рівнянь теплових балансів	02.05.2019	
6	Передавальні функції за каналами керування та збурення	08.05.2019	
7	Синтез системи керування	15.05.2019	
8	Розробка креслень	21.05.2019	
9	Охорона праці	31.05.2019	

Студент

_____ (підпис)

_____ Конончук О.В. _____
(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

_____ Козаневич З.Я. _____
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

Реферат

Дипломний проект виконано на тему «Автоматизація процесу керування зоною гартування у виробництві технічного вуглецю». Проект складається з пояснювальної записки на 80 сторінок та 3 аркушів креслень. На кресленнях представлено: схему автоматизації технологічного процесу отримання аерозолю та уловлювання технічного вуглецю, принципову електричну схему дистанційного керування електричними двигунами, монтажно-комутаційну схему до системи дистанційного керування та технологічних блокувань.

Метою проекту є забезпечення ефективного керування зоною гартування при виготовлення технічного вуглецю за рахунок впровадження засобів автоматизації, встановленні параметрів налаштування регулятора та дослідження допущення про тип впливу представлення втрат тепла на динамічні характеристики об'єкту керування.

В розділах пояснювальної записки виконана розробка математичної моделі зони гартування як технологічного об'єкту керування. Досліджені та побудовані передавальні функції та перехідні характеристики за каналами керування та збурення. Виконано синтез та дослідження системи керування.

Виконано аналіз основних вимог з охорони праці.

Ключові слова: аерозоль технічного вуглецю, автоматизація, зона гартування.

Abstract

The diploma project is executed on "Automation control of the hardening zone in the production of carbon black", the project consists of an explanatory note on 80 pages and 3 sheets of drawings. The drawings are presented: the scheme of automation, circuit diagram for remote control and emergency protection of electric motors, installation and switching scheme to remote management and technological locks.

The project aims is effective managing of harding zone of carbon black production through the introduction of automation and control system development, set up by the regulator parameters and research of acquiescence the type of influence of the presentation of heat losses on the dynamic characteristics of the control object.

In the sections of explanatory note was done the development of the mathematical model of the hardening zone as a technological object of control was performed. Transmission functions and transients on control and perturbation channels are investigated and built. The synthesis and research of the control system are executed.

Was done the analysis of the basic requirements for safety.

Keywords: black carbon aerosol, automation, PI-controller, hardening zone.

Зміст

Вступ.....	7
1. Технологія виробництва технічного вуглецю як об'єкт керування.....	9
1.1. Сучасна технологія виробництва технічного вуглецю	9
1.2. Технологічна схема виробництва технічного вуглецю.....	14
1.3. Існуючі схеми автоматизації процесів отримання аерозолі технічного вуглецю та системи уловлювання отриманого продукту	16
1.4. Зона гартування як технологічний об'єкт керування температурою у виробництві технічного вуглецю	26
1.5. Постановка задачі автоматизації	27
2. Математичне моделювання зони гартування.....	30
2.1. Акумулявальні ємності, прийняті допущення і розрахункова схема об'єкту моделювання.....	30
2.2. Постановка задачі моделювання і основні змінні для лінеаризації рівнянь балансів	33
2.3. Теплові баланси для окремих акумулявальних ємностей	33
2.3.1. Акумулявальна ємність зони гартування	33
2.3.2. Акумулявальна ємність зони підігріву повітря високого тиску ...	34
2.3.3. Акумулявальна ємність повітря високого тиску	34
2.3.4. Акумулявальна ємність обмежувальної стінки (футеровки)	35
2.4. Лінеаризація рівнянь теплових балансів	35
2.4.1. Статичний режим	35
2.4.2. Рівняння динаміки.....	37
2.4.2.1. Лінеаризація рівняння теплового балансу зони гартування....	37
2.4.2.2. Лінеаризація рівняння теплового балансу зони підігріву повітря високого тиску.....	39

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ								
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб		Конончук О.В.			Зона гартування як об'єкт керування температурою у виробництві технічного вуглецю Пояснювальна записка	Лім.		Арк.		Аркушів			
Перев		Козаневич З.Я.						4		70			
Н.Контр.		Кваско Е. М.				НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”							
Затв.		Жученко А. І.											

2.4.2.4. Лінеаризація рівняння теплового балансу зони повітря високого тиску	40
2.4.2.5. Лінеаризація рівняння теплового балансу обмежувальної стінки (футеровки).....	41
2.5. Перетворення за Лапласом змінної часу	41
2.5.1. Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони гартування	41
2.5.2. Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони підігріву повітря високого тиску.....	42
2.5.3 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони повітря високого тиску	42
2.5.4 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ в рівнянні обмежувальної стінки (футеровки).....	43
3. Передавальні функції за каналами керування і збурення.....	43
3.1. Допущення: втрати тепла в зовнішнє середовище постійні, варіант А	43
3.2 Допущення: втрати тепла в зовнішнє середовище пропорційні різниці температур в зоні гартування і обмежувальної стінки, варіант В	45
4. Перехідні характеристики за каналами керування та збурення.....	48
5. Синтез системи керування	53
5.1. Налаштування стандартних регуляторів за допомогою середовища MATLAB.....	53
5.2. Налаштування системи керування методом Циглера-Нікольса	57
6. Система автоматизації технологічного процесу отримання та уловлювання технічного вуглецю	61
7. Проектні рішення з автоматизації	63
7.1. Схема дистанційного керування електричними двигунами.....	63
7.2. Схема монтажно-комутаційна до системи дистанційного керування електричними двигунами	63
8. Охорона праці	65

8.1. Аналіз та заходи по забезпеченню безпеки на виробництві	65
8.1.1. Виробничий шум.....	65
8.1.2. Виробниче освітлення	66
8.1.3. Електробезпека.....	67
8.1.4. Пожежна безпека.....	68
Висновки	71
Література	72
Додаток Д1. Таблиця показників якості технічного вуглецю ПрАТ «КЗТВ»	
Додаток Д2. Специфікація устаткування	

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк
Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		6

Вступ

Метою дипломного проекту виступає вивчення процесу керування температурою у зоні гартування як технологічного об'єкту керування у виробництві технічного вуглецю. У проекті досліджено виробничі процеси діючого українського приватного акціонерного товариства "Кременчуцький завод технічного вуглецю" (надалі ПрАТ «КЗТУ»), який нині виготовляє 12 марок технічного вуглецю згідно з вимогами міжнародного стандарту ASTM D 1765: N772, N660, N650, N550, N326, N330, N339, N347, N375, N220, N234.

Технічний вуглець (Carbon black – англ.) - це високотехнологічний, тонкодисперсний, порошкоподібний продукт, який одержують в реакторах за контрольованих умов. За складом: 99% - чистий вуглець та 1 % - водень та сірка. Завдяки своїй чистоті він не має нічого спільного з сажею. Сажа - це побічний продукт неконтрольованого горіння, що може вбирати в себе токсичні речовини. Сажа утворюється в результаті спалювання вугілля або іншого твердого палива.

Виробництво технічного вуглецю - це тонкокерований процес при температурах від 1000 до 2000 °C і величезних швидкостях руху газів всередині реактора. Тільки за допомогою промислового устаткування можливо отримати продукт високої якості з необхідним складом властивостей.

Технічний вуглець використовується в якості підсилюючого компоненту у виготовленні гум та пластичних мас. Головним чином, його використовують в шинній промисловості, він додає гумі високої зносостійкості, збільшує межу міцності, опір на розрив та низький гістерезис. Широкого використовується для виготовлення високоякісних протекторних гум для всіх видів автомобілів та протекторних заготовок для відновлення, сільськогосподарських машин, транспортерних стрічок. Використовується для виготовлення високоякісних формувальних виробів, що використовуються у важких умовах, оболонок для кабелю, формувальних та шприцувальних виробів, гумовотехнічних ущільнювачів, каркасних та брекерних гум, виготовлення камер, профілюючих výro-

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бів, як уповільнювач «старіння» пластмас, як компонент, що надає пластмасам електропровідних властивостей.

Окрім того, технічний вуглець використовується у виробництві деяких сплавів, спеціальних видів паперу, у якості чорного пігменту у лакофарбовій, полімерній та електрохімічній промисловості; а також у виготовленні електровугільних виробів таких як електроди та гальванічні елементи. Також використовується в процесі випуску копіювального паперу та стрічок для друкарських машинок і принтерів.

Науковою новизною дипломного проекту є дослідження процесу виготовлення технічного вуглецю як однієї із самих ефективних енерготехнологічних схем, відомих не тільки у вітчизняній, а і у світовій промисловості, як технологічного об'єкту керування з метою створення сучасної схеми автоматизації з використанням засобів обчислювальної техніки.

					<i>ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Технологія виробництва технічного вуглецю як об'єкт керування

1.1. Сучасна технологія виробництва технічного вуглецю

Вуглець – це елемент, який має саму велику кількість алотропних модифікацій (більше 9), що відрізняються структурою та властивостями. Відповідно існує два види цих модифікацій: кристалічна, що входить до складу твердих речовин, та аморфна, що утворює м'які речовини. Технічний вуглець відноситься до аморфного виду алотропної модифікації вуглецю, його отримують шляхом термічного перетворення багатокомпонентної суміші (рідкої вуглеводневої сировини), у високотемпературному режимі, за допомогою спалювання природного газу та нагрітого повітря. Реакція термічного перетворення вуглеводневої сировини може бути виражена рівнянням [3]:



При цьому частинки технічного вуглецю виділяються у вигляді твердої фази та взаємодіють з газоподібними продуктами реакції. Основна кількість вуглеводневої сировини розкладається з утворенням технічного вуглецю при температурі вище 1000 °С. Швидкість термічного розпаду залежить від температури процесу - чим вона вища, тим більше частинок технічного вуглецю буде сформовано за певний проміжок часу, та більш дисперсним буде кінцевий продукт. З цього випливає, що температура напряму впливає на ключову характеристику технічного вуглецю - дисперсність. Температура процесу визначається кількістю повітря, що витрачається на 1 кг сировини яка спалюється. Чим вища питома витрата повітря, тим вища температура, й відповідно, вища дисперсність технічного вуглецю.

У якості сировини для виробництва технічного вуглецю використовують фракції та масла нафтового та коксохімічного походження, природний газ, ацетилен, коксовий газ та газу нафтопереробки. Інколи використовують технічний нафталін та технічний антрацен. Основною сировиною для одержання

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічного вуглецю є рідкі продукти переробки нафти та кам'яновугільної смоли, з них виробляється більше 80 % всього технічного вуглецю.

Згідно сучасним вимогам, в сировині, для одержання технічного вуглецю, повинен бути високий вміст ароматичних вуглеводнів.

Для оцінки ступені ароматизованості сировини використовують емпіричний показник - індекс кореляції (ІК) [1]:

$$ІК = 437p^{20} - 456,8 + 48940/T_{кип} \quad (1.2)$$

де p^{20} – щільність сировини при температурі 20 °С, г/см³; $T_{кип}$ – температура середнього об'єму кипіння вуглеводнів, К.

Сировина, індекс кореляції якої вище 120 - є придатною для випуску широкого асортименту технічного вуглецю. Між індексом кореляції та дисперсністю технічного вуглецю (питомою поверхнею його частинок) існує взаємозв'язок - чим більше індекс кореляції, тим вище дисперсність технічного вуглецю ($S_{пит}$) - від 40 м²/г (для марки N550) до 115 м²/г (для марки N220). Тому для одержання високодисперсних марок технічного вуглецю ($S_{пит} > 100$ м²/г), а для забезпечення економічно вигідного виходу продукції необхідно використовувати сировину з високим індексом кореляції від 125 до 130.

Важливою характеристикою сировини для одержання технічного вуглецю є показник коксування. Раніше коксування вітчизняної вуглеводневої сировини обмежувалась значенням 1,5 %, що стримувало використання високоароматизованої сировини з підвищеним коксуванням у виробництві технічного вуглецю. Але зараз, після промислових досліджень, було доведено, що факторами, що визначають інтенсивність коксування сировини в реакторах, є температурні умови та гідродинамічні характеристики процесу одержання технічного вуглецю. З підвищенням температури процесу та зростанням швидкості високотемпературного потоку продуктів горіння на початку зони реакції - інтенсивність коксування знижується. Як наслідок, ці результати досліджень дозволили реалізувати промислове впровадження високоароматизованої важкої піролізної смоли (коксування 8-12 %) та важких газойлей крекінгу (коксу-

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вання 4-8 %) і за рахунок цього стало можливим розширення бази сировини для виробництва технічного вуглецю.

Вміст сірки у сировині повинен бути в межах рівня 2,0-2,5 %, відповідно вміст сірки в технічному вуглецю не повинен перевищувати 1 %. Необхідно враховувати, що при одержанні технічного вуглецю з різними рівнями дисперсності із однієї і тієї ж сировини вміст сірки буде рости при збільшенні його дисперсності. Тому вміст сірки в сировині, з якої виготовляють високодисперсний технічний вуглець марки N220, не повинен бути більше 2 %, а для марок середньої дисперсності N550, N330 - 2,5 %. В сировині для одержання технічного вуглецю також обмежують вміст механічних домішок ($> 45\text{мкм}$) та золи на рівні не вищому за 0,05 %.

Назва технічного вуглецю вказує на спосіб отримання продукту. Так, наприклад, назва канальний говорить про те, що технічний вуглець одержаний шляхом осідання на металевій поверхні, що нагадує канали (швелерні балки). Назви пічний, термічний, форсуночний також вказують на його спосіб отримання. Ламповий технічний вуглець раніше видобувався шляхом спалювання масла в лампах. Зараз такий технічний вуглець одержують в печах, але його назва збереглася.

На сьогоднішній день більш як 96% технічного вуглецю виробляють пічним (реакторним) способом. В такий спосіб є можливість отримувати різні марки технічного вуглецю з певним набором властивостей.

Нині, вірно спроектований процес отримання пічного технічного вуглецю є однією із самих ефективних енерготехнологічних схем, відомих в промисловості. Переваги пічного способу порівняно з іншими способами отримання технічного вуглецю:

- можливість чіткого регулювання всіх потоків, що надходять в реактор, забезпеченням повної автоматизації процесу отримання технічного вуглецю;
- забезпечення отримання технічного вуглецю з різними властивостями: питомою поверхнею $12-500\text{ м}^2/\text{г}$ по йоду;

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- широким використанням тепла побічних продуктів реакції піролізу сировини шляхом рекуперативного нагрівання повітря, сировини, палива;
- значне зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Таблиця 1

Властивості та напрям використання деяких марок технічного вуглецю

Марка технічного вуглецю	Рекомендований напрям використання
N220	Підсилююча домішка, що додає гумам високої зносостійкості, збільшує межу міцності та опір на розрив. Широко використовується для виготовлення високоякісних протекторних шин для всіх видів автомобілів та протекторних заготовок для відновлення. Використовується для виготовлення високоякісних гумових формованих виробів, що використовуються в важких умовах.
N330	Підсилююча домішка, що додає гумам високої зносостійкості, збільшує міцність та низький гістерезис. Широко використовується для виготовлення протекторних шин для автомобілів та сільськогосподарських машин, транспортерних стрічок. Використовується для виготовлення кабельної ізоляції, формувальних виробів.
N339	Підсилююча домішка, використовується в протекторних шинах для автомобілів та сільськогосподарських машин, транспортерних стрічок, для виготовлення кабельної ізоляції, формувальних виробів.
N375	Підсилююча домішка, що додає гумам високої зносостійкості, збільшує межу міцності та опір на розрив. Широко використовується для виготовлення брекерних гум, конвеєрних стрічок, для гумовотехнічних ущільнювачів та формувальних виробів.
N550 N650	Напівпідсилююча домішка, що додає гумам середньої жорсткості та пружності. Має прекрасні профілюючі властивості. Широко використовується для виготовлення каркасних та брекерних шин. Для виготовлення камер, профілюючих виробів, гумовотехнічних ущільнювачів та формувальних виробів, кабелів та взуття.

Таблиця показників якості технічного вуглецю ПрАТ «КЗТВ» наведена в додатку 1.

З ростом автомобільної промисловості та послідовним розвитком вітчизняного виробництва шин відповідно, прибутки в цілому у світі від виробництва технічного вуглецю будуть значно зростати впродовж найближчих двадцяти років. За оцінкою визнаних світових дослідницьких компаній, розмір світового ринку технічного вуглецю становив \$ 20,027 мільярдів у 2014 році та буде зростати до \$ 28,053 мільярдів до 2022 року, що згідно CAGR

(Compound Annual Growth Rate) - це середньорічний темп росту з урахуванням складного відсотку, становитиме 4,2 % з 2015 по 2022 рік [2].

Таблиця 2

Основні світові постачальники технічного вуглецю

№	Компанія	Функції	Напрямок використання	Регіони поставки
1	ПрАТ «КЗТУ»	виробник	для шин, гумовотехнічних виробів, пігментів та пластиків	світовий
2	Омск Карбон Груп	виробник, фабрикант	для шин, гумовотехнічних виробів, пігментів, пластиків, кабелів каркасних та конвейерних стрічок	світовий
3	Sid Richardson Carbon & Energy Co.	виробник	для шин, чорнил, пігментів, пластиків	Північна Америка
4	Tokai Carbon Co. Ltd	фабрикант	для гумових виробів, пластиків та інших металургічних застосувань	Японія
5	Asahi Carbon Co. Ltd	фабрикант	для гумових частин та шин	Японія
6	Ralsen Goodluck Carbon	фабрикант	для шин, гумових виробів, пластиків, кабелів та каркасів	Індія
7	Atlas Organic Pvt. Ltd	фабрикант, постачальник	для шин, гумових виробів, пігментів, пластиків	Індія (субконтинент)
8	Continental Carbon Co	фабрикант	для промислових гумових виробів	Середній схід, Африка та Азіатсько-Тихоокеанський регіон
9	OCI Company Ltd	фабрикант	для шин та гумових виробів	Південно-східна Азія, Індія, Середній схід, Африка
10	Birla Carbon	фабрикант, постачальник	для пластиків, нанесення покриттів та чорнил	світовий
11	Bridgestone Corp	фабрикант	для шин	світовий
12	Cabot Corp.	фабрикант	для друкарських чорнил, тонерів, пластиків та покриттів	світовий
13	China Synthetic Rubber Corporation	фабрикант	для шин та гумових виробів	Тайвань

1.2. Технологічна схема виробництва технічного вуглецю

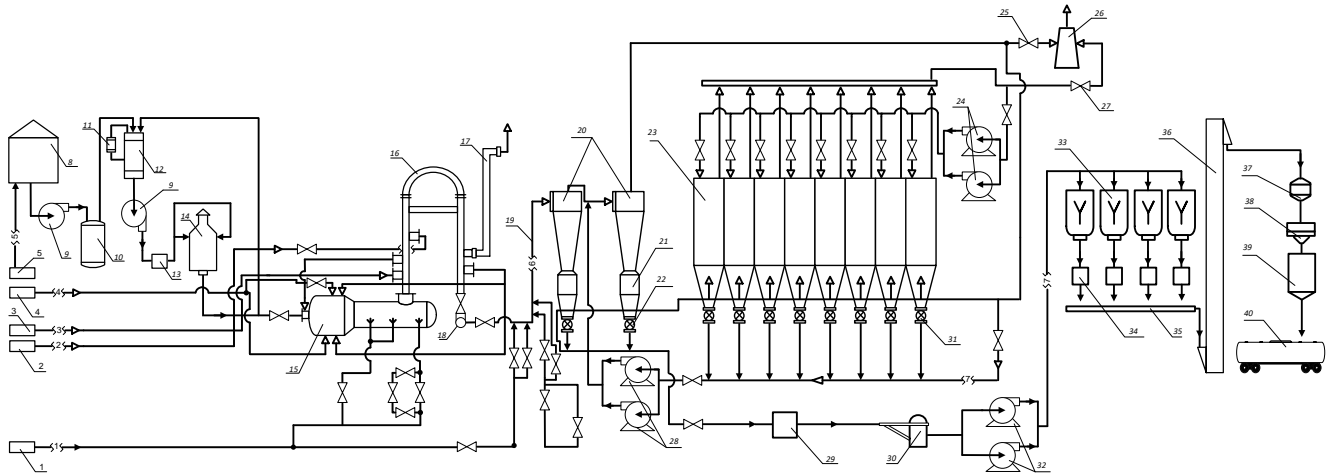


Рис. 1. Технологічна схема виробництва технічного вуглецю

1 – вода; 2 – повітря низького тиску; 3 – повітря високого тиску; 4 – природний газ; 5 – сировина; 6 – аерозоль технічного вуглецю; 7 – технічний вуглець; 8 – резервуар з сировиною; 9 – центробіжні насоси; 10 – теплообмінник; 11 – піновідділювач; 12 – вологовипаровувач; 13 – фільтр; 14 – підігрівник; 15 – реактор; 16 – підігрівник повітря; 17 – труба; 18 – колектор; 19 – холодильник-зрошувач; 20 – циклони; 21 – бункер циклону; 22, 31 – затвор (підживлювач) шлюзовий; 23 – рукавний фільтр; 24, 28, 32 – вентилятори; 25 – засувка (Ø1000) з електроприводом; 26 – установка для спалювання газів; 27 – засувка (Ø600) з електроприводом; 29 – гравітаційна пастка; 30 – мікроподрібнювач з магнітним сепаратором; 33 – змішувач-ущільнювач; 34 – грануляційні барабани; 35 – збірний конвеєр-транспортер; 36 – елеватор; 37 – ваги; 38 – магнітний сепаратор; 39 – бункер для технічного вуглецю; 40 – спеціальний залізнодорожний вагон-хопер для транспортування технічного вуглецю.

Підготовлена трьохкомпонентна сировина (антраценова фракція, важкий каталітичний газойл та продукти коксохімії) підігріта до температури 60–80 °С з резервуару 8 центробіжним насосом 9 подається у теплообмінник 10 де підігрівається паром до температури 100–130 °С. З теплообмінника 10 сировину скеровують до вологовипаровувача 12 та піновідділювача 11, де з неї видаляється волога. Далі із вологовипаровувача 12 сировина центробіжним насосом 9 направляється у фільтр 13, а потім у підігрівник 14, де її нагрівають до температури 280 – 320 °С. Для підігріву сировини використовують горючий газ або рідке паливо. Із підігрівника 14 сировина під тиском 6 – 8 кгс/см² подається до форсунок реактору 15. На одному технологічному потоці встановлено три реактори, два з яких функціонують, а один знаходиться в резерві.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ

Арк.

14

Розпилювання сировини в форсунках відбувається під тиском 8 – 12 кгс/см². [4]. У форсунки, для спалювання палива, що знаходяться збоку циклонної частини реактора, подають паливо – природний газ та повітря низького тиску, причому кількість повітря в 10 – 12 разів перевищує кількість газу. За рахунок тепла, що виділяється при спалюванні газу, в зоні горіння одержуємо температуру 1400 °С, при котрій відбувається розпад вуглеводнів сировини та утворюється технічний вуглець. Для припинення росту частинок технічного вуглецю в реактор 15 за допомогою механічних форсунок подають хімічно очищену воду під тиском 10 – 12 кгс/см².

Повітря низького тиску попередньо підігрівають у підігрівнику повітря 16 до температури 280–300 °С за рахунок тепла аерозолі технічного вуглецю, що виходить з реактору 15. Із підігрівника повітря 16 аерозоль технічного вуглецю з температурою 550 °С через колектор 18 (до якого під'єднані три реактори) проходить холодильник-зрошувач 19, в якому температура аерозолі за рахунок випаровування води, що впорскується механічними форсунками під тиском 12 кгс/см² знижується до 300 °С.

Пуск реакторів у роботу і вихід на температурний режим проходить при вимкненій системі уловлювання через трубу 17, що встановлена перед колектором 18. Завдяки тиску 159986,9 Па [4], що створюється в реакторі під час утворення аерозолі технічного вуглецю, аерозоль рухається по колектору 18 і далі. Після холодильника-зрошувача 19 аерозоль при температурі 300 °С та тиску 79993,4 Па проходить через чотири послідовно встановлені циклони 20, в яких уловлюється до 90–95 % технічного вуглецю. Технічний вуглець накопичується в бункерах циклонів 21 та виводиться через шлюзові затвори (підживлювачі) 22 в систему гідростатичного транспортування, що подає технічний вуглець до відділення подальшої обробки. Технічний вуглець, що не осів у циклонах (~30 %) з газоподібними продуктами процесу при температурі 230 – 250 °С та тиску 39996,7 Па, для кінцевого очищення газів доуловлюється у восьмисекційних рукавних фільтрах 23. Із рукавних фільтрів 23 технічний ву-

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глець вентиляторами 28 направляється в другий по ходу газу циклон, в якому змішується з технічним вуглецем, що уловлюється в циклонах. Частина очищених газів вентиляторами 24 повертається в систему фільтрів для продування, а основна маса подається на допалювання в установку для спалювання газів 26.

Система гідростатичного транспортування, що задіяна за допомогою спеціально спроектованих потоків, подає технічний вуглець до гравітаційної пастки 29 та мікроподрібнювача 30, де відбувається очищення технічного вуглецю від сторонніх включень і подрібнення спечених вуглецевих часток. Вентиляторами 32 технічний вуглець подається до системи змішувачів-ущільнювачів 33 для ущільнювання продукту. Потім через шлюзові затвори він зсипається в грануляційні барабани 34 для гранулювання. Звідси гранульований технічний вуглець поступає на збірний конвеєр-транспортер 35 з нього елеватором 36 направляється на ваги 37 далі пройшовши через магнітний сепаратор 38 поступає в надрельсовий бункер для технічного вуглецю 39 та завантажується у вагони – хопери 40 для транспортування готового продукту.

1.3. Існуючі схеми автоматизації процесів отримання аерозолю технічного вуглецю та системи уловлювання отриманого продукту

Схема автоматичного контролю та регулювання реактору для отримання аерозолю технічного вуглецю діючого виробництва ОАО «Ярославский технический углерод» зображена на рисунку 2. [6]

					<i>ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

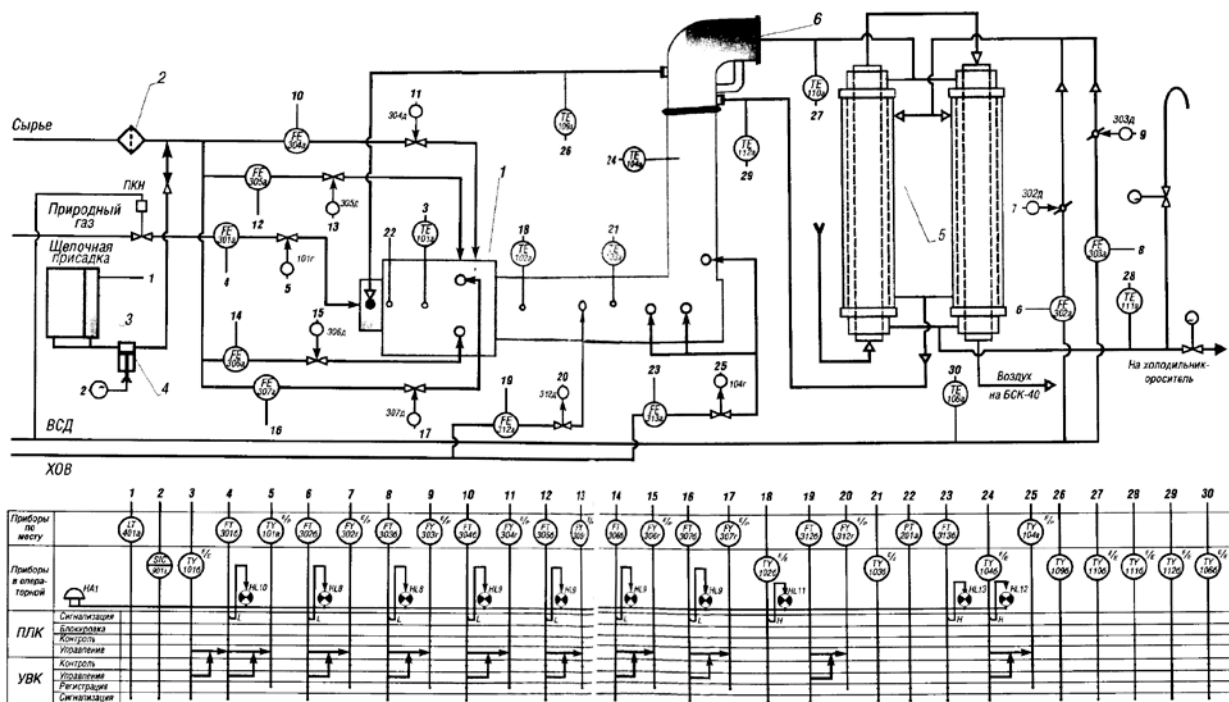


Рис. 2. Схема автоматичного контролю та регулювання реактору для отримання аерозоліу технічного вуглецю

1 – реактор; 2 – фільтр сировини; 3 – ємність лужної присадки; 4 – насос-дозатор;
 5 – підігрівач повітря першого рівня; 6 – підігрівач повітря другого рівня;
 ПЛК – програмований логічний контролер; УОК – управляючий обчислювальний комплекс; ПКН – запобіжний клапан.

В камеру горіння реактору 1 через чотири дифузійні горілки подаються природний газ та повітря середнього тиску (ПСТ). ПСТ подається в повітряну камеру, розподіляється по чотирьом горілочним каналам, та змішаний з природним газом, поступає в камеру горіння. Сировина проходить через фільтр тонкої очистки 2, подається радіально у вісім каналів зони реакції. Технічний вуглець, що утворився в зоні реакції, разом із газоподібними продуктами реакції проходить далі в зону попереднього гартування, де охолоджується вприском води до температури, за якої призупиняється взаємодія вуглеводневих частинок з газоподібними продуктами; зону гартування, де охолоджується до температури, допустимої для рекуперативного підігрівача 6. Далі аерозоль технічного вуглецю проходить через підігрівачі ПСТ другої степені 6, першої степені 5, направляється до холодильника-зрошувача і далі на фільтр уловлювання.

Автоматизована система управління по своїй структурі є дворівневою. Перший рівень складають програмовані логічні контролери (в даній схемі типу Реміконт-130), які зв'язані з датчиками та виконавчими механізмами. Вони виконують функції контролю параметрів, їх автоматичного регулювання та сигналізації їх граничних значень. На другому рівні знаходиться управляючий обчислювальний комплекс (УОК), з'єднаний з контролерами. УОК зчитує контролери та представляє дані про процес на моніторі в цифровому та графічному вигляді.

По наведеній схемі на реакторі контролюються та регулюються наступні параметри. Витрата ПСТ вимірюється двома звужуючими пристроями (302а, 303а) та дифманометрами (302б, 303б), електричні сигнали з яких поступають на ПЛК, що підтримує автоматично задане значення вказаних витрат, діючи на регулюючі заслонки (302д, 303д) через позиціонери (302г, 303г).

В системі виконується підсумовування витрат ПСТ, визначається загальна витрата в реактор. При цьому виміряні витрати ПСТ корегуються по його дійсній температурі (106а, 106б, ПЛК, УОК) та вираховується істинна витрата. Роздвоєння потоку ПСТ на два потоки з окремими вимірами та знову об'єднання, зв'язано з необхідністю виміру малих витрат ПСТ при розпалі та розігріві реактору. Температура ПСТ контролюється на виході з підігрівачів обох рівнів термопарами (112а, 109а), та через перетворювачі (112б, 109б) сигнал поступає в систему управління.

Витрата природного газу вимірюється за допомогою звужуючого пристрою з дифманометром (301а, 301б) та регулюється в співвідношенні з загальною витратою ПСТ по схемі УОК → ПЛК → електропневматичний позиціонер (101в) → регулюючий клапан (101г).

Передбачено алгоритм автоматичного корегування вказаного співвідношення по температурі в зоні горіння. На лінії газу встановлений запобіжний

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

клапан типу ПКН, що відсікає подачу газу при падінні тиску ПСТ нижче граничного значення.

Контролюється та регулюється витрата сировини в кожен реакційний канал по схемі: звужуючий пристрій (304а, 305а, 306а, 307а) → дифманометр (304б, 305б, 306б, 307б) → ПЛК → УОК → позиціонер (304г, 305г, 306г, 307г) → регулюючий клапан (304д, 305д, 306д, 307д).

Виконується контроль та реєстрація температур в зонах горіння, реакції та попереднього гартування за допомогою радіаційних пірометрів (101а, 102а, 103а). Сигнали з телескопів радіаційних пірометрів (101б, 102б, 103б) і далі в ПЛК та УОК на реєстрацію.

Витрата хімічно очищеної води (ХОВ) в зону попереднього гартування контролюється та автоматично регулюється по схемі: діафрагма (312а) → дифманометр (312б) → ПЛК → УОК → регулюючий клапан з позиціонером (312г, 312д). Температура в зоні гартування контролюється та регулюється витратою ХОВ по схемі: термопара (104а) → перетворювач (104б) → ПЛК → УОК → регулюючий клапан з позиціонером (104в, 104г). Витрата ХОВ в зону гартування вимірюється діафрагмою (313а) та дифманометром (313б), сигнал з якого поступає на ПЛК та УОК для контролю та реєстрації.

Контролюється тиск (201а) в реакторі, а також температури аерозолі після підігрівачів повітря першого та другого рівнів (101а та 111а).

Схема автоматичного контролю та управління системою основного уловлювання технічного вуглецю діючого виробництва ОАО «Ярославский технический углерод» зображена на рисунку 3. [6]

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

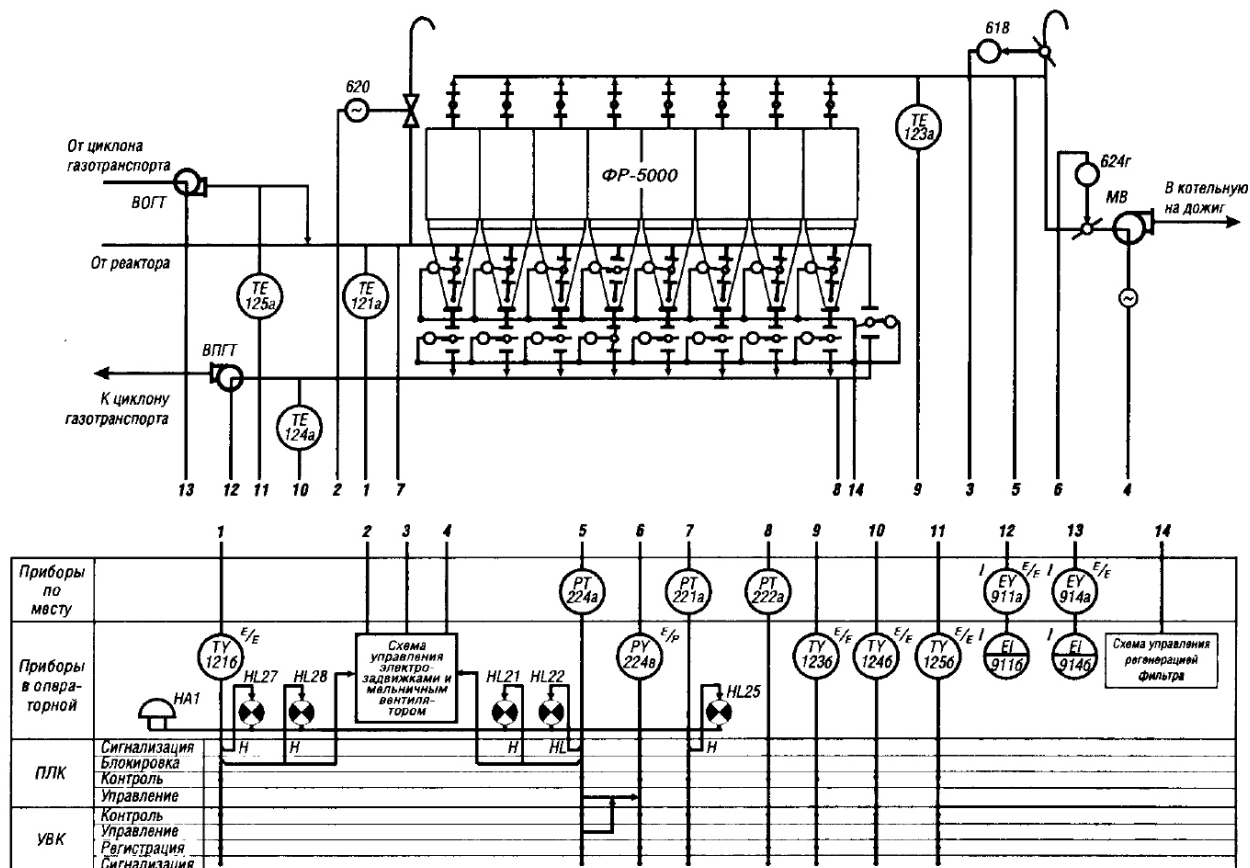


Рис. 3. Схема автоматического контролю та управління системою основного уловлювання технічного вугілля

ФР-5000 – рукавний фільтр; МВ – млиновий вентилятор; ВПГТ – вентилятор прямого газового транспорту; ВОГТ – вентилятор зворотнього газового транспорту;
ПЛК – програмований логічний контролер; УОК – управляючий обчислювальний комплекс.

Тиск на вході в рукавний фільтр контролюється за допомогою датчика тиску (221a), контролера (ПЛК) та реєструється УОК. При перевищенні заданого значення тиску спрацьовує звукова та світлова сигналізація (HL25).

Тиск на виході з фільтру контролюється та регулюється за допомогою датчика тиску (224a) та ПЛК, керуючий сигнал з якого через електропневмоперетворювач (224в) поступає на регулюючу заслонку (624г). Керування режимом роботи ПЛК – встановлення дистанційного або автоматичного керування, зміна завдання – виконується з клавіатури УОК. Передбачається звукова та світлова сигналізація відхилень (HL22). При відхиленні параметра за граничні значення спрацьовує автоматичне блокування – зупиняється млиновий вентилятор (МВ), відкривається шибер

(618) на «свічці» за фільтром та відкривається аварійна електроздвижка (620) перед фільтром, спрацьовує аварійна сигналізація (HL21).

Температура на вході в рукавний фільтр контролюється термопарою (121а), перетворювачем (121б), ПЛК та реєструється УОК. При перевищенні номінального значення спрацьовує світова та звукова сигналізація (HL27). При перевищенні граничного значення температури спрацьовує блокування – відкривається електроздвижка аварійного викиду перед фільтром (620), зупиняється млиновий вентилятор (МВ), відкривається шибер на «свічці» за фільтром (618), що супроводжується аварійною сигналізацією (HL28).

Вказані вище параметри характеризують стан фільтру та забезпечують безпечну експлуатацію. Додатково контролюються та реєструються температури після фільтру (123а), в прямій (124а) та зворотній (125а) гілках газотранспорту за допомогою термопар, ПЛК та УВК, а також тиск в газотранспорті датчиком тиску (222а).

Схема керування регенерацією фільтру здійснює перемикання положення вхідних та розгрузочних шиберів за алгоритмом «відкрито - закрито», у відповідності із заданою часовою програмою, здійснюючи таким чином вигрузку технічного вуглецю з секцій та одночасну регенерацію рукавів в ній. Ці перемикання можуть виконуватися послідовно по порядку секцій фільтру або в будь-якому встановленому порядку. Тривалість регенерації секції та паузи до регенерації слідуючої секції легко регулюється.

Контроль роботи вентиляторів прямого і зворотнього газотранспорту здійснюється амперметрами (911б, 914б) через трансформатори струму (911а, 914а).

Схема автоматичного регулювання температури в реакторі зображена на рисунок 4. [4]

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

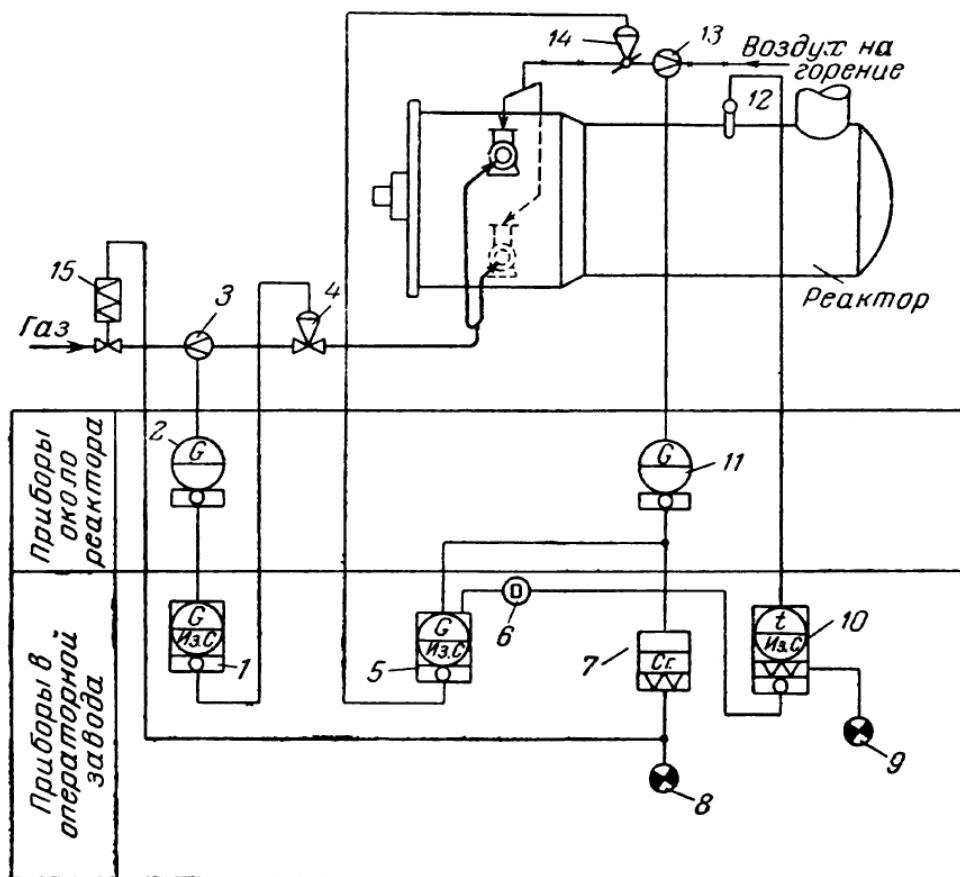


Рис. 4. Схема автоматичного регулювання температури в реакторі у виробництві технічного вуглецю

- 1, 5 – вторичний самопишучий прилад з регулюючим блоком; 2, 11 – дифманометри;
 3, 13 – діафрагми; 4 – регулюючий мембранний клапан витрати газу; 6 – перемикач
 пневматичних ліній; 7 – пневматичне диференційне реле; 8, 9 – сигнальні лампи;
 10 – автоматичний самопишучий потенціометр; 12 – термопара;
 14 – регулююча заслонка з пневмоприводом; 15 – електромагнітний вентиль.

Постійна витрата газу підтримується автоматично, а температура регулюється шляхом зміни витрати повітря, що подається на спалювання газу.

Кількість газу, що потрібен для спалювання в реакторі, встановлюється оператором на вторичному приладі 1. При коливанні тиску газу в газопроводі, наприклад при вимкненні або увімкненні сусідніх реакторів, сигнал з дифманометру 2 подається на вторичний прилад 1, регулюючий блок якого діє на мембранний клапан 4, що регулює витрату газу.

Зміна температури здійснюється термопарою. Недолік термопари – порівняно короткий строк служби в умовах процесу утворення технічного

вуглецю. Для регулювання температури в зоні реакції використовують радіаційні пірометри, але вони стійко реагують на температуру тільки вище 1000 °С, тому в системах автоматичного регулювання термopара зберігається для виводу реактору на режим, тобто для його розігріву до температури 1000 – 1300 °С.

Вимірювання температури здійснюють за допомогою термopари 12. Значення температури, яку необхідно підтримувати в реакторі, встановлюють на автоматичному потенціометрі 10 з пневматичним регулюючим пристроєм. При зміні температури в реакторі пневматичний сигнал від потенціометра 10 подається в одну з камер регулюючого блоку приладу 5, який подає сигнал, що діє на заслонку 14, яка регулює витрату повітря. Витрата повітря фіксується на діаграмі вторичного самопишучого приладу 5. При відхиленні температури в реакторі від заданої на щиті, в операторській спалахує сигнальна лампа 9.

Якщо у виробництві використовується сировина з постійними властивостями, можливий більш простий спосіб регулювання процесу утворення технічного вуглецю. В такому разі підтримують постійними витрату палива та повітря для його горіння, що забезпечує постійність температури в зоні утворення аерозолу технічного вуглецю. При цьому регулювання температури стає необов'язковим; її достатньо контролювати. При постійних властивостях сировини перемикач 6 встановлюють в таке положення, при якому пневматичний сигнал в камеру регулюючого блоку приладу 5 подається не від автоматичного потенціометра 10, а від вторичного приладу 5. Пневматичний сигнал на приладі 5, який відповідає необхідній витраті повітря, що подається на спалювання, встановлюється оператором. Пневматичний сигнал регулюючого блоку діє на заслонку 14, яка підтримує витрату повітря в заданій кількості.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

При витраті повітря на спалювання нижче встановленої кількості, спрацьовує пневмоелектричне реле 7 та подає електричний імпульс на електромагнітний клапан 15, який припиняє подачу палива в реактор. В той же час на щиті в операторській спалахує червона лампа 8 та лунає сигнал, що попереджує оператора про аварію.

Схема автоматичного управління роботою рукавного фільтра при уловлюванні технічного вуглецю зображена на рисунку 5. [4]

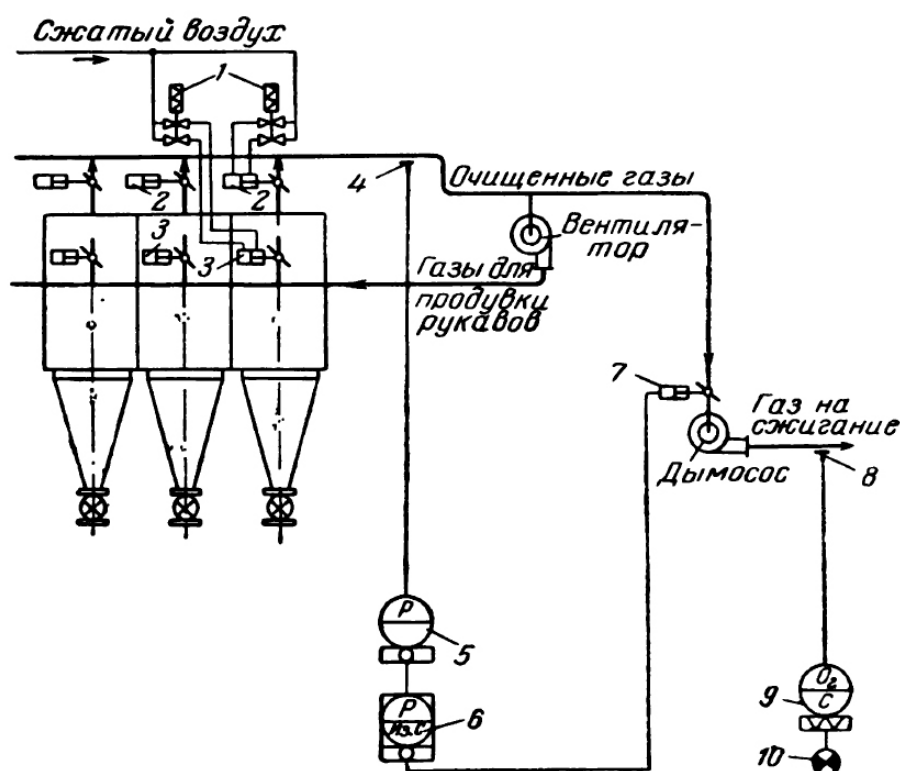


Рис. 5. Схема автоматичного управління роботою рукавного фільтра при уловлюванні технічного вуглецю

- 1 – електропневматичні клапани; 2 – пневмоприводи заслонок на лінії очищених газів;
- 3 – пневмоприводи заслонок на лінії продувочних газів; 4 – відбірний прилад тиску;
- 5- дифманометр; 6 – вторинний самопишучий прилад з регулюючим блоком;
- 7 – пневмопривід заслонки, регулюючий тиск; 8 – пристрій для відбору газів для аналізу;
- 9 – автоматичний самопишучий газоаналізатор на кисень; 10 – сигнальна лампа.

Аерозоль технічного вуглецю, проходячи через рукавний фільтр, залишає на поверхні склотканини технічний вуглець, а очищені гази поступають в установку для спалювання або через трубу викидаються в атмосферу.

Продувка окремих секцій рукавів очищенням газом виконується автоматично, почерговим підключенням пневмоприводів заслонок 2 та 3 до мережі повітря під тиском (тиск 6 кгс/см²) за допомогою електропневматичних клапанів 1. При продувці, наприклад, першої секції рукавного фільтру, пневмопривід 2 закриває заслонку на газоході очищених газів після секції, а пневмопривід 3 одночасно відкриває заслонку на лінії продувочних газів. Аналогічно проходить послідовна продувка інших секцій.

Система автоматичного управління продувкою секцій передбачає налаштування режимів на продувку одної секції до 5 хвилин. Струшування рукавів виконується один раз в зміну; протягом до 100 секунд. Системою автоматичного регулювання передбачений проміжок між струшуванням окремих секцій до 100 секунд.

Для надійної роботи системи уловлювання необхідно на виході з рукавного фільтру підтримувати постійний тиск близько 20 мм вод. ст. В такому випадку вся система знаходиться під невеликим тиском, що виключає можливість підсосу повітря в фільтр та, відповідно, вибух аерозолу в системі циклони → рукавний фільтр. Необхідний тиск після рукавного фільтру задається оператором на вторичному самопишучому приладі з регулюючим блоком 6. При відхиленні тиску після фільтру від заданого, пневматичний сигнал з дифманометру 5 поступає в регулюючий блок приладу 6, який діє на заслонку з пневмоприводом 7, що регулює тиск в системі уловлювання. Крім автоматичного регулювання оператор має можливість контролювати тиск після рукавного фільтру по приладу з регулюючим блоком 6.

1.4. Зона гартування як технологічний об'єкт керування температурою у виробництві технічного вуглецю

Важливими параметрами у одержанні технічного вуглецю є дотримання температурного режиму процесу й відповідне кількісне співвідношення повітря та сировини, що подаються до зони горіння реактору. Реактор умовно можна розділити на чотири основні зони, що послідовно переходять одна в одну, як це зображено на рисунку 6. I, II, III, IV – зона горіння, змішування, реакції, гартування відповідно.

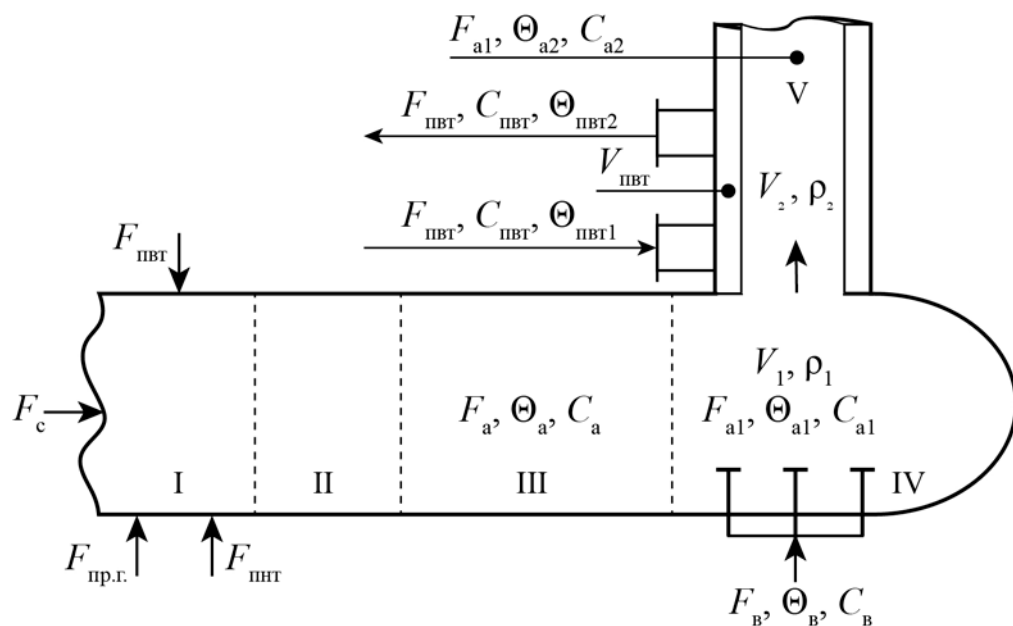


Рис. 6. Розрахункова схема для зони гартування

$F_c, F_{\text{пр.г}}, F_{\text{пвт}}, F_{\text{пнт}}, F_v, F_a, F_{a1}$ – витрата сировини, природного газу, повітря високого тиску, повітря низького тиску, води, аерозолу в зоні III, аерозолу в зоні IV відповідно; $\Theta_a, \Theta_{a1}, \Theta_{a2}, \Theta_v, \Theta_{\text{пвт1}}, \Theta_{\text{пвт2}}$ – температура в зоні III, в зоні IV, в зоні V, води, повітря високого тиску на вході у зону V, повітря високого тиску на виході із зони V відповідно; $C_v, C_a, C_{a1}, C_{a2}, C_{\text{пвт}}$ – теплоємність води, в зоні III, в зоні IV, в зоні V, повітря високого тиску відповідно; $V_1, V_2, V_{\text{пвт}}$ – об'єм в зоні IV, на вході у зону V, повітря високого тиску у зоні V відповідно; ρ_1, ρ_2 – тиск в зоні IV, на вході у зону V відповідно; I, II, III, IV, V – зона горіння, змішування, реакції, гартування, повітряпідігрівника відповідно

Технологічно температура аерозолу на виході з підігрівника Θ_{a2} обмежена фізичними властивостями матеріалів наступних апаратів і тому підлягає ре-

гулюванню. Керуючою дією прийнята витрата води F_v , збурення F_a , регульована величина Θ_{a2} .

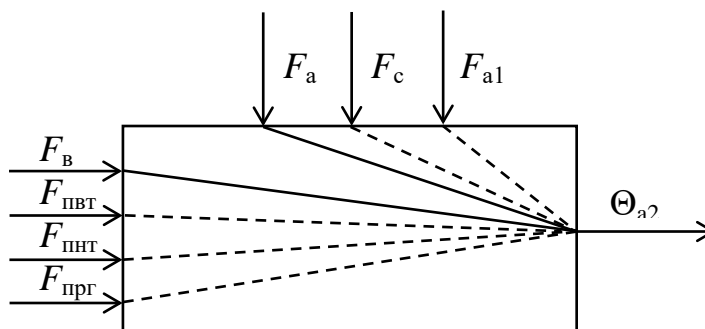


Рис. 7. Структурно-параметрична схема ТОК.

1.5. Постановка задачі автоматизації

1. На основі розгляду зони гартування як технологічного об'єкту керування виділити основний визначальний параметр і встановити способи його регулювання (стабілізації). Обумовити основне збурення, що впливає на цей параметр.

2. Провести математичне моделювання температури зони гартування.

2.1. Встановити основні акумулювальні ємності, що впливають на характер динаміки каналів.

2.2. Встановити перелік допущень які приймаються при складанні теплових балансів.

2.3. Скласти теплові баланси для окремих акумулювальних ємностей.

2.4. Встановити математичну модель температури у відхиленнях від основного статичного режиму.

2.5. Отримати математичну модель основних змінних у зображеннях за Лапласом.

2.6. Одержати передавальні функції за каналами керування і збурення.

2.7. Відобразити графіки перехідних характеристик температури зони гартування за каналами керування і збурення.

2.8. Дослідити вплив допущення про втрати тепла в зовнішнє середовище як функції різниці температур на динамічні характеристики системи на Θ_{a2} .

3. Визначити параметри налаштування ПІ-регуляторів.

3.1. Параметри налаштування регуляторів методом М-кола.

3.2. Параметри налаштування регуляторів методом Циглера-Нікельса.

3.3 Порівняти перехідні характеристики замкнутої системи регулювання при різних параметрах налаштування регулятора.

3.4 Дослідити вплив різних способів врахування втрат тепла на динамічні характеристики каналів керування і збурення.

4. Розробити схему автоматизації технологічного процесу отримання та уловлювання технічного вуглецю.

4.1. Автоматичний контроль параметрів.

4.2. Автоматичне регулювання основних параметрів процесу.

4.3. Сигналізація та блокування.

4.4. Дистанційне керування.

5. Деякі проектні рішення з автоматизації.

5.1. Монтажно-комутаційна схема.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2. Електрична схема увімкнення та вимкнення електроприводів двигунів.

6. Розробити основні заходи з охорони праці.

6.1. Виробничий шум.

6.2. Виробниче освітлення.

6.3. Електронебезпека.

6.4. Пожежна безпека.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Математичне моделювання зони гартування

2.1. Акумулявальні ємності, прийняті допущення і розрахункова схема об'єкту моделювання

Нашим основним параметром є температура. Для визначення її динамічних характеристик розглядаємо наступні теплові ємності [11]:

1. Акумулявальна ємність аерозолі в зоні гартування;
2. Акумулявальна ємність зони підігріву повітря високого тиску;
3. Акумулявальна ємність повітря високого тиску;
4. Акумулявальна ємність обмежувальної стінки (футеровки).

Прийняті допущення: при складанні теплових балансів використовуються наступні допущення:

1. Теплофізичні характеристики всіх середовищ постійні і не залежать від температури.
2. Акумулявальні ємності представляють собою об'єкти ідеального перемішування.
3. Втрати тепла в зовнішнє середовище складають 10 % від теплового потоку аерозолі.
4. Теплова ємність обмежувальної стінки.
5. Температура футеровки приймає середнє арифметичне значення відносно температури аерозолі в зоні гартування і температури зовнішнього середовища.

Розрахункова схема зображена на рисунку 8.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

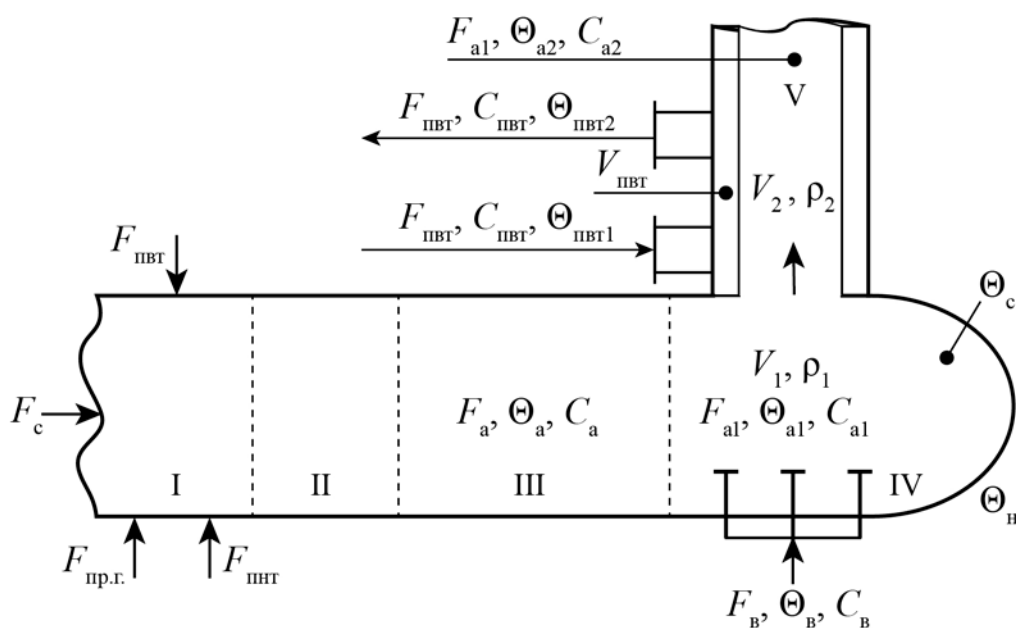


Рис. 8. Розрахункова схема для зони гартування

$F_c, F_{\text{пр.г}}, F_{\text{пвт}}, F_{\text{пнт}}, F_v, F_a, F_{a1}$ – витрата сировини, природного газу, повітря високого тиску, повітря низького тиску, води, аерозолу в зоні III, аерозолу в зоні IV відповідно; $\Theta_a, \Theta_{a1}, \Theta_{a2}, \Theta_v, \Theta_c, \Theta_n, \Theta_{\text{пвт1}}, \Theta_{\text{пвт2}}$ – температура в зоні III, в зоні IV, в зоні V, води, обмежувальної стінки (футеровки), навколишнього середовища, повітря високого тиску на вході у зону V, повітря високого тиску на виході із зони V відповідно; $C_v, C_a, C_{a1}, C_{a2}, C_{\text{пвт}}$ – теплоємність води, в зоні III, в зоні IV, в зоні V, повітря високого тиску відповідно; $V_1, V_2, V_{\text{пвт}}$ – об'єм в зоні IV, на вході у зону V, повітря високого тиску у зоні V відповідно; ρ_1, ρ_2 – тиск в зоні IV, на вході у зону V відповідно; I, II, III, IV, V – зона горіння, змішування, реакції, гартування, повітряпідігрівника відповідно

Зона горіння I, забезпечує отримання температурних умов для розкладання сировини через спалювання природного газу. В зоні змішування II, сировина вводиться в гарячі гази, що виходять із зони горіння I.

При вході в реакційну зону III, утворений аерозоль розкладається під впливом високотемпературного режиму (1400 °C) й відбувається утворення частинок технічного вуглецю.

Зона реакції III визначається часом, що потрібен для завершення формування продукту. Для припинення росту частинок технічного вуглецю та для запобігання виникнення вторинних процесів, в зону гартування IV подають хімічно очищену воду F_v , завдяки чому аерозоль охолоджується до 750 °C.

На виході із зони гартування тепло аерозолію використовується для нагрівання повітря високого тиску, за допомогою підігрівника повітря. При цьому аерозоль охолоджується на 200 °С. В подальшому тепло аерозолію використовується для підігріву повітря низького тиску, що подається в зону І.

Тепловий баланс аерозолію в зоні гартування:

$$F_a C_a \Theta_a (1 - \alpha) + F_b C_b \Theta_b - F_b r_b - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} = V_1 C_{a1} \frac{d}{dt} (\Theta_{a1}) \quad (2.1.1)$$

Тепловий баланс зони підігріву повітря високого тиску:

$$\begin{aligned} (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} - KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2} \right) - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a2} = \\ = V_2 C_{a2} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{a1} + \Theta_{a2}}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.1.2)$$

Тепловий баланс повітря високого тиску:

$$\begin{aligned} F_{пвт} C_{пвт} (\Theta_{пвт1} - \Theta_{пвт2}) + KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2} \right) = \\ = V_{пвт} C_{пвт} \rho_{пвт} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{пвт1} + \Theta_{пвт2}}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.1.3)$$

Тепловий баланс обмежувальної стінки (футеровки):

$$\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - \alpha_n S_c \cdot (\Theta_c - \Theta_n) = M \cdot c_c \frac{d\Theta_c}{dt} \quad (2.1.4)$$

2.2 Постановка задачі моделювання і основні змінні для лінеаризації рівнянь балансів

Нас цікавить регулювання температури на виході Θ_{a2} – це регульована величина, збурення F_a , керуюча дія F_b та проміжні величини Θ_{a1} та $\Theta_{пвт2}$.

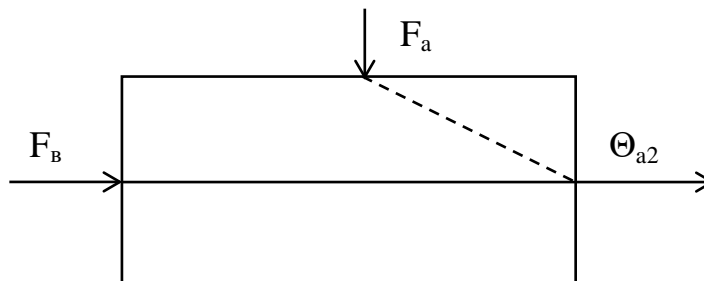


Рис. 9. Структурно-параметрична схема ТОК.

Змінні параметри, що підлягають лінеаризації:

параметри стану: регульована величина Θ_{a2} , проміжні величини Θ_{a1} та $\Theta_{пвт2}$
керуюча дія F_b ; - збурення F_a . Решта величин приймаємо як постійні величини.

2.3 Теплові баланси для окремих акумулювальних ємностей

2.3.1. Акумулювальна ємність зони гартування

Втрати тепла в зовнішнє середовище розглядаємо в двох варіантах:

Варіант А: постійні і дорівнюють 10 % від тепла внесеного з аерозолем;

Варіант В: змінні і пропорційні різниці температур в зоні гартування і обмежувальної стінки Θ_c .

Тепло, яке поступає з аерозолем із зони II: $F_a C_a \Theta_a$

Тепло, яке поступає з вприском води в зону гартування: $F_b C_b \Theta_b$

Тепло затрачене на випаровування води: $F_b r_b$

Тепло, яке виходить із зони гартування з аерозоллю: $(F_a + F_b) C_a \Theta_{a1}$

Тепло передане до футеровки: $\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c)$

Тепло акумульоване аерозолем в зоні IV: $V_1 C_{a1} \frac{d}{dt} (\Theta_{a1})$

Тепловий баланс для акумулюючої ємності аерозолі в зоні IV у випадку прийнятих постійних втрат тепла в зовнішнє середовище, як 10 % від внесеного тепла з аерозолем:

$$0,9 \cdot F_a C_a \Theta_a + F_b C_b \Theta_b - F_{br} - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} - \alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) = V_1 C_{a\rho_1} \frac{d}{dt}(\Theta_{a1}) \quad (2.3.1.1)$$

Тепловий баланс зони гартування для втрат тепла в зовнішнє середовище пропорційне різниці температур Θ_{a1} і Θ_c :

$$F_a C_a \Theta_a + F_b C_b \Theta_b - F_{br} - \alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} = V_1 C_{a\rho_1} \frac{d}{dt}(\Theta_{a1}) \quad (2.3.1.2)$$

2.3.2. Акумулювальна ємність зони підігріву повітря високого тиску

Тепло яке прийшло з аерозолі від зони IV: $(F_a + F_b) C_a \Theta_{a1}$

Тепло передане повітрю високого тиску: $KS(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2})$

Тепло яке відійшло з аерозолем до зони V: $(F_a + F_b) C_a \Theta_{a2}$

Тепло акумульоване аерозолем в зоні підігріву повітря високого тиску:

$$V_2 C_{a\rho_2} \frac{d}{dt}(\frac{\Theta_{a1} + \Theta_{a2}}{2});$$

Тепловий баланс для акумулювальної ємності зони підігріву повітря високого тиску:

$$(F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} - KS(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2}) - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a2} = V_2 C_{a\rho_2} \frac{d}{dt}(\frac{\Theta_{a1} + \Theta_{a2}}{2}); \quad (2.3.2.1)$$

2.3.3. Акумулювальна ємність повітря високого тиску

Тепло яке прийшло з аерозолі від зони IV: $F_{пвт} C_{пвт} \Theta_{пвт1}$

Тепло яке відійшло з нагрітим повітрям високого тиску: $F_{пвт} C_{пвт} \Theta_{пвт2}$

Тепло отримане повітрям високого тиску: $KS(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2})$

Тепло акумульоване від ємності повітря високого тиску:

$$\begin{aligned}
& V_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} \rho_{\text{пвт}} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{\text{пвт1}} + \Theta_{\text{пвт2}}}{2} \right) \\
& F_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} (\Theta_{\text{пвт1}} - \Theta_{\text{пвт2}}) + KS \left(\frac{\Theta_{\text{a2}} + \Theta_{\text{a1}}}{2} - \frac{\Theta_{\text{пвт2}} + \Theta_{\text{пвт1}}}{2} \right) = \\
& = V_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} \rho_{\text{пвт}} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{\text{пвт1}} + \Theta_{\text{пвт2}}}{2} \right)
\end{aligned} \tag{2.3.3.1}$$

2.3.4 Акумулявальна ємність обмежувальної стінки (футеровки)

Тепло передане до футеровки: $\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c)$

Тепло передане від стінки до зовнішнього середовища: $\alpha_n S_c \cdot (\Theta_c - \Theta_n)$

Тепло акумульоване в футеровці: $M \cdot c_c \frac{d\Theta_c}{dt}$

Тепловий баланс для акумулювальної ємності футеровки:

$$\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - \alpha_n S_c \cdot (\Theta_c - \Theta_n) = M \cdot c_c \frac{d\Theta_c}{dt} \tag{2.3.4.1}$$

Математична модель – це сукупність рівнянь акумулювальних ємностей зони гартування, зони підігріву повітря високого тиску та зони повітря високого тиску в розмірних величинах (2.3.1.2), (2.3.2.1), (2.3.2.1), (2.3.3.1), (2.3.4.1).

2.4 Лінеаризація рівнянь теплових балансів

2.4.1 Статичний режим

- акумулювальної ємності аерозолі в зоні IV (гартування)

$$F_a C_a \Theta_a + F_b C_b \Theta_b - F_b r_b - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} = 0 \tag{2.4.1.1}$$

- акумулювальної ємності зони підігріву повітря високого тиску

$$(F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} - KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{\text{пвт2}} + \Theta_{\text{пвт1}}}{2} \right) - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a2} = 0 \tag{2.4.1.2}$$

- акумулювальної ємності повітря високого тиску:

$$F_{\text{пвт}} C_{\text{пвт}} (\Theta_{\text{пвт1}} - \Theta_{\text{пвт2}}) + KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{\text{пвт2}} + \Theta_{\text{пвт1}}}{2} \right) = 0 \tag{2.4.1.3}$$

- акумулювальної ємності футеровки:

$$\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - \alpha_n S_n \cdot (\Theta_c - \Theta_n) = 0 \quad (2.4.1.4)$$

Значення параметрів основного статичного режиму наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Параметри основного статичного режиму

№ п/п	Назва параметру	Позна- на- чення	Одиниці вимірю- вання	Значення
1	Витрата сировини	F_c	кг/год	1800
2	Витрата повітря високого тиску	$F_{пвт}$	кг/год	261037.69
3	Витрата повітря низького тиску	$F_{пнт}$	кг/год	1600
4	Витрата природного газу	$F_{прг}$	кг/год	130
5	Витрата аерозолі в зоні III (горіння)	F_a	кг/год	10333
6	Витрата аерозолі в зоні IV (гартування)	F_{a1}	кг/год	12902
7	Витрата аерозолі в зоні IV (з урахуванням втрат)	F_{a1}^B	кг/год	12349
8	Витрата води	F_v	кг/год	2569
9	Витрата води (з урахуванням втрат)	F_v^B	кг/год	2016
10	Температура води	Θ_v	°C	69
11	Температура в зоні III (горіння)	Θ_a	°C	1400
12	Температура в зоні IV (гартування)	Θ_{a1}	°C	750
13	Температура в зоні V (підігрівник)	Θ_{a2}	°C	550
14	Температура повітря високого тиску на вході	$\Theta_{пвт1}$	°C	200
15	Температура повітря високого тиску на виході	$\Theta_{пвт2}$	°C	300
16	Температура обмежувальної стінки	Θ_c	°C	350
17	Теплоємність води	C_v	кДж/кг·°C	4,19
18	Теплоємність в зоні III (горіння)	C_a	кДж/кг·°C	1,10
19	Теплоємність стінки	C_c	кДж/кг·°C	1,14
20	Теплоємність повітря високого тиску	$C_{пвт}$	кДж/кг·°C	1,0
21	Скрита теплота пароутворення	r_v	кДж/кг	$2,34 \cdot 10^3$
22	Об'єм аерозолі в зоні IV (гартування)	V_1	м ³	12,24
23	Об'єм аерозолі в зоні V (підігрівник)	V_2	м ³	1,37
24	Об'єм повітря високого тиску	$V_{пвт}$	м ³	2,14
25	Густина аерозолі в зоні III (горіння)	ρ_1	кг/м ³	1,12
26	Густина аерозолі в зоні IV (гартування)	ρ_2	кг/м ³	1,30
27	Густина повітря	$\rho_{пвт}$	кг/м ³	0,746
28	Добуток KS для повітря	$KS_{пвт}$	кДж/кг·°C	22698.93
29	Добуток KS (з урахуванням втрат)	KS^B	кДж/кг·°C	6791
30	Добуток $\alpha_c S_c$	$\alpha_c S_c$	кДж/год·°C	3978
31	Добуток $\alpha_n S_n$	$\alpha_n S_n$	кДж/год·°C	4822

Лінеаризацію проведено відносно основного статичного режиму:

$$F_a(t) = F_{a0} + \Delta F_a(t)$$

$$F_b(t) = F_{b0} + \Delta F_b(t)$$

$$\Theta_{\text{пвт}}(t) = \Theta_{\text{пвт}0} + \Delta \Theta_{\text{пвт}}(t)$$

$$\Theta_{a1}(t) = \Theta_{a10} + \Delta \Theta_{a1}(t)$$

$$\Theta_{a2}(t) = \Theta_{a20} + \Delta \Theta_{a2}(t)$$

$$\Theta_c(t) = \Theta_{c0} + \Delta \Theta_c(t)$$

В результаті отримуємо математичну модель у відхиленнях відносно статичного режиму.

2.4.2 Рівняння динаміки

2.4.2.1. Лінеаризація рівняння теплового балансу зони гартування

Варіант А:

Втрати тепла в зовнішнє середовище постійні.

$$F_a C_a \Theta_a + F_b C_b \Theta_b - F_b r_b - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} = V_1 C_a \rho_1 \frac{d}{dt}(\Theta_{a1}) \quad (2.4.2.1)$$

Лінеаризуємо:

$$\begin{aligned} \Delta F_a (C_a \Theta_{a0} - C_a \Theta_{a10}) + \Delta F_b (C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_a \Theta_{a10}) - \Delta \Theta_{a1} (F_{a0} + F_{b0}) C_a = \\ = V_1 \rho_1 C_a \frac{d}{dt}(\Delta \Theta_{a1}) \end{aligned} \quad (2.4.2.2)$$

$$\begin{aligned} V_1 \rho_1 C_a \frac{d}{dt}(\Delta \Theta_{a1}) + \Delta \Theta_{a1} (F_{a0} + F_{b0}) C_a = \Delta F_a (C_a \Theta_{a0} - C_a \Theta_{a10}) + \\ + \Delta F_b (C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_{a10} \Theta_{a10}) \end{aligned} \quad (2.4.2.3)$$

Введення позначень:

$$T_1 = \frac{V_1 \rho_1 C_a}{(F_{a0} + F_{b0}) C_a} = \frac{V_1 \rho_1}{F_{a0} + F_{b0}} = \frac{12,24 \cdot 1,12}{10333 + 2569} = \frac{13,7088}{12902} = 0,001 \quad (2.4.2.4)$$

$$A = K_{F_a \Theta_{a1}} = \frac{\Theta_{a0} - \Theta_{a10}}{F_{a0} + F_{b0}} = \frac{1400 - 750}{10333 + 2569} = \frac{650}{12902} = 0,05 \quad (2.4.2.5)$$

$$\begin{aligned} B = K_{F_b \Theta_{a1}} = \frac{C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_{a10} \Theta_{a10}}{(F_{a0} + F_{b0}) C_a} = \frac{4,19 \cdot 69 - 2,34 - 1,1 \cdot 750}{(10333 + 2569) \cdot 1,1} = \\ = -\frac{538,23}{14192,2} = -0,038 \end{aligned} \quad (2.4.2.6)$$

$$T_1 \frac{d\Delta\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a1}(t) - A \cdot \Delta F_a - B \cdot \Delta F_b =$$

$$= 0,001 \frac{d\Delta\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a1}(t) - 0,05 \cdot \Delta F_a + 0,038 \cdot \Delta F_b \quad (2.4.2.7)$$

Варіант В:

Втрати тепла пропорційні різниці температур аерозолі в зоні гартування і обмежувальної стінки.

$$F_a C_a \Theta_a + F_b C_b \Theta_b - F_b r_b - \alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - (F_a + F_b) C_a \Theta_{a1} = V_1 C_a \rho_1 \frac{d}{dt} (\Theta_{a1}); \quad (2.4.2.8)$$

Лінеаризуємо:

$$\Delta F_a (C_a \Theta_{a0} - C_a \Theta_{a10}) + \Delta F_b (C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_a \Theta_{a10}) -$$

$$- \Delta \Theta_{a1} [(F_{a0} + F_{b0}) C_a + \alpha_c S_c] + \Delta \Theta_c \alpha_c S_c = V_1 \rho_1 C_a \frac{d}{dt} (\Delta \Theta_{a1}) \quad (2.4.2.9)$$

$$V_1 \rho_1 C_a \frac{d}{dt} (\Delta \Theta_{a1}) + \Delta \Theta_{a1} [(F_{a0} + F_{b0}) C_a + \alpha_c S_c] - \Delta \Theta_c \alpha_c S_c =$$

$$= \Delta F_a (C_a \Theta_{a0} - C_a \Theta_{a10}) + \Delta F_b (C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_{a10} \Theta_{a10}) \quad (2.4.2.10)$$

Введення позначень:

$$T_{1b} = \frac{V_1 \rho_1 C_a}{(F_{a0} + F_{b0}) C_a + \alpha_c S_c} = \frac{12,24 \cdot 1,12 \cdot 1,1}{(10333 + 2569) \cdot 1,1 + 3978} = \frac{15,08}{18170,2} = 0,0008 \quad (2.4.2.11)$$

$$A_1 = K_{F_a \Theta_{a1}} = \frac{\Theta_{a0} - \Theta_{a10}}{(F_{a0} + F_{b0}) + \alpha_c S_c} = \frac{650}{12902 + 3978} = \frac{650}{16880} = 0,0385 \quad (2.4.2.12)$$

$$B_1 = K_{F_b \Theta_c} = \frac{C_b \Theta_{b0} - r_{b0} - C_{a10} \Theta_{a10}}{(F_{a0} + F_{b0}) C_a + \alpha_c S_c} = - \frac{538,23}{14192,2 + 3978} =$$

$$= - \frac{538,23}{18170,2} = -0,029 \quad (2.4.2.13)$$

$$C_1 = K_{\Theta_{c1} \Theta_{a1}} = \frac{\alpha_c S_c}{(F_{a0} + F_{b0}) C_a + \alpha_c S_c} = \frac{3978}{14192,2 + 3978} = \frac{3978}{18170,2} = 0,22 \quad (2.4.2.14)$$

$$T_{1b} \frac{d\Delta\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a1}(t) - C_1 \cdot \Delta\Theta_c(t) - A_1 \cdot \Delta F_a - B_1 \cdot \Delta F_b =$$

$$= 0,0008 \frac{d\Delta\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a1}(t) - 0,22 \cdot \Delta\Theta_c(t) - 0,0385 \cdot \Delta F_a + 0,029 \cdot \Delta F_b \quad (2.4.2.15)$$

2.4.2.2. Лінеаризація рівняння теплового балансу зони підігріву повітря високого тиску

$$(F_a + F_b)C_a\Theta_{a1} - KS\left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2}\right) - (F_a + F_b)C_a\Theta_{a2} =$$

$$= V_2 C_a \rho_2 \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{a1} + \Theta_{a2}}{2} \right); \quad (2.4.2.2.1)$$

Лінеаризуємо:

$$\Delta F_a(C_a\Theta_{a10} - C_a\Theta_{a20}) + \Delta F_b(C_a\Theta_{a10} - C_a\Theta_{a20}) + \Delta\Theta_{a1}\left[(F_{a0} + F_{b0})C_a - \frac{KS}{2}\right] -$$

$$-\Delta\Theta_{a2}\left[\frac{KS}{2} + (F_{a0} + F_{b0})C_a\right] + \Delta\Theta_{пвт2}\frac{KS}{2} = \frac{V_2 \rho_2 C_a}{2} \cdot \frac{d}{dt}(\Theta_{a1}) + \frac{d}{dt}(\Theta_{a2}) \quad (2.4.2.2.2)$$

$$\frac{V_2 \rho_2 C_a}{2} \cdot \left[\frac{d}{dt}(\Theta_{a1}) + \frac{d}{dt}(\Theta_{a2}) \right] + \Delta\Theta_{a2}\left[\frac{KS}{2} + (F_{a0} + F_{b0})C_a\right] + \Delta\Theta_{a1}\left[\frac{KS}{2} -$$

$$-(F_{a0} + F_{b0})C_a\right] - \Delta\Theta_{пвт2}\frac{KS}{2} = \Delta F_a(C_a\Theta_{a10} - C_a\Theta_{a20}) + \Delta F_b(C_a\Theta_{a10} - C_a\Theta_{a20}) \quad (2.4.2.2.3)$$

Введення позначень:

$$T_2 = \frac{V_2 \rho_2 C_a}{KS + 2(F_{a0} + F_{b0})C_a} = \frac{V_2 \rho_2}{F_{a0} + F_{b0}} =$$

$$= \frac{1,37 \cdot 1,3}{22698,93 + 2(10333 + 2569)} = \frac{1,781}{48502,93} = 0,00003 \quad (2.4.2.2.4)$$

$$C = K_{\Theta_{a1}\Theta_{a2}} = \frac{KS - 2(F_{a0} + F_{b0})C_a}{KS + 2(F_{a0} + F_{b0})C_a} =$$

$$= \frac{22698,93 - 2(10333 + 2569)1,1}{22698,93 + 2(10333 + 2569)1,1} = -\frac{5685,47}{51083,33} = -0,111 \quad (2.4.2.2.5)$$

$$D = K_{\Theta_{пвт2}\Theta_{a2}} = \frac{KS}{KS + 2(F_{a0} + F_{b0})C_a} =$$

$$= \frac{22698,93}{22698,93 + 2(10333 + 2569)1,1} = \frac{22698,93}{51083,33} = 0,444 \quad (2.4.2.2.6)$$

$$E = K_{F_a\Theta_{a2}} = K_{F_b\Theta_{a2}} = \frac{2C_a(\Theta_{a10} - \Theta_{a20})}{KS + 2(F_{a0} + F_{b0})C_a} = \frac{2 \cdot 1,1(750 - 550)}{51083,33} = 0,008 \quad (2.4.2.2.7)$$

$$T_2 \cdot \frac{d\Theta_{a2}(t)}{dt} + T_2 \cdot \frac{d\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a2}(t) + \Delta\Theta_{a1}(t) \cdot C - \Delta\Theta_{пвт2} \cdot D -$$

$$-\Delta F_a \cdot E - \Delta F_b \cdot E = 0,00003 \cdot \frac{d\Theta_{a2}(t)}{dt} + 0,00003 \cdot \frac{d\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a2}(t) +$$

$$+ \Delta\Theta_{a1}(t) \cdot (-0,111) - \Delta\Theta_{пвт2} \cdot 0,444 - \Delta F_a \cdot 0,008 - \Delta F_b \cdot 0,008 \quad (2.4.2.2.8)$$

2.4.2.3 Лінеаризація рівняння теплового балансу зони повітря високого тиску

$$F_{пвт} C_{пвт} (\Theta_{пвт1} - \Theta_{пвт2}) + KS \left(\frac{\Theta_{a2} + \Theta_{a1}}{2} - \frac{\Theta_{пвт2} + \Theta_{пвт1}}{2} \right) =$$

$$= V_{пвт} C_{пвт} \rho_{пвт} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Theta_{пвт1} + \Theta_{пвт2}}{2} \right) \quad (2.4.2.3.1)$$

Лінеаризуємо:

$$-\Delta\Theta_{пвт2} \left[F_{пвт} C_{пвт} + \frac{KS}{2} \right] + \Delta\Theta_{a2} \frac{KS}{2} + \Delta\Theta_{a1} \frac{KS}{2} = \frac{V_{пвт} \rho_{пвт} C_{пвт}}{2} \cdot \frac{d}{dt} (\Delta\Theta_{пвт2}) \quad (2.4.2.3.2)$$

$$\frac{V_{пвт} \rho_{пвт} C_{пвт}}{2} \cdot \frac{d}{dt} (\Delta\Theta_{пвт2}) + \Delta\Theta_{пвт2} \left[F_{пвт} C_{пвт} + \frac{KS}{2} \right] - \Delta\Theta_{a2} \frac{KS}{2} - \Delta\Theta_{a1} \frac{KS}{2} = 0 \quad (2.4.2.3.3)$$

Введення позначень:

$$T_3 = \frac{V_{пвт} \rho_{пвт} C_{пвт}}{2F_{пвт} C_{пвт} + KS} = \frac{8495 \cdot 0,746 \cdot 1}{2 \cdot 261037,69 \cdot 1 + 22698,93} = \frac{6337,27}{544774,31} = 0,0116 \quad (2.4.2.3.4)$$

$$F = K_{\Theta_{a1}\Theta_{пвт2}} = K_{\Theta_{a2}\Theta_{пвт2}} = \frac{KS}{2F_{пвт} C_{пвт} + KS} =$$

$$= \frac{22698,93}{2 \cdot 261037,69 \cdot 1 + 22698,93} = \frac{22698,93}{544774,31} = 0,041 \quad (2.4.2.3.5)$$

$$T_3 \cdot \frac{d\Theta_{пвт2}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{пвт2}(t) - \Delta\Theta_{a1} \cdot F - \Delta\Theta_{a2} \cdot F =$$

$$= 0,0116 \cdot \frac{d\Theta_{пвт2}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{пвт2}(t) - \Delta\Theta_{a1} \cdot 0,041 - \Delta\Theta_{a2} \cdot 0,041 \quad (2.4.2.3.6)$$

2.4.2.4 Лінеаризація рівняння теплового балансу обмежувальної стінки (футеровки)

$$\alpha_c S_c \cdot (\Theta_{a1} - \Theta_c) - \alpha_n S_c \cdot (\Theta_c - \Theta_n) = M \cdot c_c \frac{d\Theta_c}{dt} \quad (2.4.2.4.1)$$

Лінеаризуємо:

$$\Delta\Theta_{a1} \cdot \alpha_c S_c - \Delta\Theta_c (\alpha_c S_c + \alpha_n S_c) = M \cdot c_c \frac{d\Delta\Theta_c}{dt} \quad (2.4.2.4.2)$$

Введення позначень:

$$T_4 = \frac{M \cdot c_c}{\alpha_c S_c + \alpha_n S_c} = \frac{6018 \cdot 1,14}{3978 + 4822} = \frac{6860,52}{8800} = 0,77 \quad (2.4.2.4.3)$$

$$G = K_{\Theta_{a1}\Theta_c} = \frac{\alpha_c S_c}{S_c(\alpha_c + \alpha_n)} = \frac{3978}{8800} = 0,45 \quad (2.4.2.4.4)$$

З врахуванням (2.4.2.4.4) рівняння (2.4.2.4.2) буде:

$$T_4 \frac{d\Delta\Theta_c}{dt} + \Delta\Theta_c - G \cdot \Delta\Theta_{a1} = 0,77 \frac{d\Delta\Theta_c}{dt} + \Delta\Theta_c - 0,45 \cdot \Delta\Theta_{a1} \quad (2.4.2.4.5)$$

2.5 Перетворення за Лапласом змінної часу

2.5.1 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони гартування

Варіант А, рівняння (2.4.2.3)

$$\Delta\Theta_{a1}(t) \rightarrow \Theta_{a1}(p);$$

$$\Delta F_a(t) \rightarrow F_a(p);$$

$$\Delta F_b(t) \rightarrow F_b(p)$$

Після перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$

$$(T_1 p + 1)\Theta_{a1}(p) = K_{F_a\Theta_{a1}} F_a(p) + K_{F_b\Theta_{a1}} F_b(p) \quad (2.5.1.1)$$

$$(T_1 p + 1)\Theta_{a1}(p) = A \cdot F_a(p) + B \cdot F_b(p) \quad (2.5.1.2)$$

Варіант В, рівняння (2.4.2.14)

Після перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$

$$(T_{1b} p + 1) \cdot \Theta_{a1}(p) + C_1 \cdot \Theta_c(p) = A_1 \cdot F_a(p) - B_1 \cdot F_b(p) \quad (2.5.1.3)$$

2.5.2 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони підігріву повітря високого тиску

$$\Delta\Theta_{a1}(t) \rightarrow \Theta_{a1}(p);$$

$$\Delta\Theta_{a2}(t) \rightarrow \Theta_{a2}(p);$$

$$\Delta\Theta_{\text{пвт}2}(t) \rightarrow \Theta_{\text{пвт}2}(p);$$

$$\Delta F_a(t) \rightarrow F_a(p);$$

$$\Delta F_b(t) \rightarrow F_b(p)$$

$$\begin{aligned} T_2 \frac{d\Theta_{a2}(t)}{dt} + T_2 \frac{d\Theta_{a1}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{a2}(t) + \Delta\Theta_{a1}(t) \cdot K_{\Theta_{a1}\Theta_{a2}} - \Delta\Theta_{\text{пвт}2} \cdot K_{\Theta_{\text{пвт}2}\Theta_{a2}} = \\ = \Delta F_a \cdot K_{F_a\Theta_{a2}} + \Delta F_b \cdot K_{F_b\Theta_{a2}} \end{aligned} \quad (2.5.2.1)$$

Після перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$

$$\begin{aligned} (T_2 \cdot p + 1)\Theta_{a2}(p) + (T_2 \cdot p + C)\Theta_{a1}(p) - D \cdot \Theta_{\text{пвт}2}(p) = \\ = E \cdot F_a(p) + E \cdot F_b(p) \end{aligned} \quad (2.5.2.2)$$

Враховуючи (2.4.2.2.4), (2.4.2.2.5), (2.4.2.2.6), (2.4.2.2.7) маємо:

$$\begin{aligned} (0,00003 \cdot p + 1)\Theta_{a2}(p) + (0,00003 \cdot p - 0,111)\Theta_{a1}(p) - 0,444 \cdot \Theta_{\text{пвт}2}(p) = \\ = 0,008 \cdot F_a(p) + 0,008 \cdot F_b(p) \end{aligned} \quad (2.5.2.3)$$

2.5.3 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ зони повітря високого тиску

$$\Delta\Theta_{a1}(t) \rightarrow \Theta_{a1}(p);$$

$$\Delta\Theta_{a2}(t) \rightarrow \Theta_{a2}(p);$$

$$\Delta\Theta_{\text{пвт}2}(t) \rightarrow \Theta_{\text{пвт}2}(p);$$

$$T_3 \frac{d\Theta_{\text{пвт}2}(t)}{dt} + \Delta\Theta_{\text{пвт}2}(t) = K_{\Theta_{a1}\Theta_{\text{пвт}2}} \cdot \Delta\Theta_{a1} + K_{\Theta_{\text{пвт}2}\Theta_{a2}} \cdot \Delta\Theta_{a2} \quad (2.5.3.1)$$

Після перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$

$$(T_3 \cdot p + 1)\Theta_{\text{пвт}2}(p) = F \cdot \Theta_{a1}(p) + F \cdot \Theta_{a2}(p) \quad (2.5.3.2)$$

Враховуючи (2.4.2.3.4), (2.4.2.3.5), (2.4.2.3.6) маємо:

$$(0,0116 \cdot p + 1)\Theta_{\text{пвт}2}(p) = 0,041 \cdot \Theta_{a1}(p) + 0,041 \cdot \Theta_{a2}(p) \quad (2.5.3.3)$$

2.5.4 Перетворення за Лапласом змінної часу $t \rightarrow p$ обмежувальної стінки (футеровки)

$$\Delta\Theta_{a1}(t) \rightarrow \Theta_{a1}(p);$$

$$\Delta\Theta_c(t) \rightarrow \Theta_c(p);$$

$$T_4 \frac{d\Delta\Theta_c(t)}{dt} + \Delta\Theta_c(t) = K_{\Theta_{a1}\Theta_c} \cdot \Delta\Theta_{a1} \quad (2.5.4.1)$$

Після перетворення за Лапласом $t \rightarrow p$

$$(T_4 \cdot p + 1)\Theta_c(p) - G \cdot \Theta_{a1}(p) = 0 \quad (2.5.4.2)$$

Враховуючи (2.4.2.4.3), (2.4.2.4.4) маємо:

$$(0,77p + 1)\Theta_c(p) - 0,45 \cdot \Theta_{a1}(p) = 0 \quad (2.5.4.3)$$

3 Передавальні функції за каналами керування і збурення

3.1 Допущення: втрати тепла в зовнішнє середовище постійні, варіант А

Постійні втрати тепла в зовнішнє середовище беруться 10 % від тепла внесеного з аерозолем і чисельно враховані в рівнянні (2.3.1).

Передавальні функції отримаємо внаслідок рішення системи лінійних рівнянь, що дає математичну модель в зображеннях відносно регульованої величини як функції керування і збурення

$$\Theta_{a2} = f(F_b, F_a) = W_{\ker_{F_b\Theta_{a2}}}(p) \cdot F_b(p) + W_{zb_{F_a\Theta_{a2}}}(p) \cdot F_a(p)$$

$$(T_1 p + 1)\Theta_{a1}(p) = A \cdot F_a(p) + B \cdot F_b(p) \quad (3.1.1)$$

$$\begin{aligned} (T_2 p + 1)\Theta_{a2}(p) + (T_2 p + C)\Theta_{a1}(p) - D \cdot \Theta_{пвт2}(p) = \\ = E \cdot F_a(p) + E \cdot F_b(p) \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

$$(T_3 p + 1)\Theta_{пвт2}(p) - F \cdot \Theta_{a1}(p) - F \cdot \Theta_{a2}(p) = 0 \quad (3.1.3)$$

Рішення системи рівнянь відбувається методом Крамера.

Визначник матриці системи:

$$\Delta = \begin{pmatrix} T_1 p + 1 & 0 & 0 \\ T_2 p + 1 & T_2 p + C & -D \\ F & F & T_3 p + 1 \end{pmatrix} = (T_1 p + 1) \begin{pmatrix} T_2 p + C & -D \\ F & T_3 p + 1 \end{pmatrix} =$$

$$= (T_1 p + 1)[(T_2 p + C)(T_3 p + 1) + D \cdot F] \quad (3.1.4)$$

Вектори-стовбці керуючої дії та збурення:

$$F_B = \begin{pmatrix} B \\ E \\ 0 \end{pmatrix}; \quad F_a = \begin{pmatrix} A \\ E \\ 0 \end{pmatrix};$$

Доповнення для впливу керуючої дії F_B на Θ_{a2} :

$$\Delta F_B = \begin{pmatrix} T_1 p + 1 & B & 0 \\ T_2 p + 1 & E & -D \\ F & 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} = (T_1 p + 1) \begin{pmatrix} E & -D \\ 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} -$$

$$- B \begin{pmatrix} T_2 p + 1 & -D \\ F & T_3 p + 1 \end{pmatrix} = (T_1 p + 1)[(T_3 p + 1)E] - B[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + DF] \quad (3.1.5)$$

Передавальна функція за каналом керування $F_B \rightarrow \Theta_{a2}$:

$$W_{\ker_{F_B \Theta_{a2}}}(p) = \frac{\Theta_{a2}(p)}{F_B(p)} = \frac{\Delta F_B}{\Delta} =$$

$$= \frac{(T_1 p + 1)[(T_3 p + 1)E] - B[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + DF]}{(T_1 p + 1)[(T_2 p + C)(T_3 p + 1) + DF]} =$$

$$= \frac{(0,001p + 1)[(0,0116p + 1)0,008] + 0,038[(0,00003p + 1)(0,0116p + 1) + 0,18]}{(0,001p + 1)[(0,00003p - 0,111)(0,0116p + 1) + 0,18]} \quad (3.1.6)$$

Доповнення для впливу збурення F_a на Θ_{a2} :

$$\Delta F_a = \begin{pmatrix} T_1 p + 1 & A & 0 \\ T_2 p + 1 & E & -D \\ F & 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} = (T_1 p + 1) \begin{pmatrix} E & -D \\ 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} -$$

$$- A \begin{pmatrix} T_2 p + 1 & -D \\ F & T_3 p + 1 \end{pmatrix} = (T_1 p + 1)[(T_3 p + 1)E] - A[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + DF] \quad (3.1.7)$$

Передавальна функція за каналом збурення $F_a \rightarrow \Theta_{a2}$:

$$\begin{aligned}
 W_{zb_{F_a\Theta_{a2}}}(p) &= \frac{\Theta_{a2}(p)}{F_a(p)} = \frac{\Delta F_a}{\Delta} = \\
 &= \frac{(T_1 p + 1)[(T_3 p + 1)E] - A[(T_2 p + 1)(T_3 p + 1) + DF]}{(T_1 p + 1)[(T_2 p + C)(T_3 p + 1) + DF]} = \\
 &= \frac{(0,001p + 1)[(0,0116p + 1)0,008] - 0,05[(0,00003p + 1)(0,0116p + 1) + 0,18]}{(0,001p + 1)[(0,00003p - 0,111)(0,0116p + 1) + 0,18]}
 \end{aligned} \quad (3.1.8)$$

3.2 Допущення: втрати тепла в зовнішнє середовище пропорційні різниці температур в зоні гартування і обмежувальної стінки, варіант В

Тоді необхідно врахувати акумулюючу ємність футеровки наведеної в пункті 2.3.4. Математична модель динаміки її в зображеннях змінних за Лапласом доповнюється формулою (2.5.4.2).

В такому випадку математична модель динаміки нашого ТОК буде представлена системою рівнянь, де враховані втрати тепла: (2.5.1.3), (2.5.2.2), (2.5.3.2), (2.5.4.2).

$$(T_{1b} \cdot p + 1) \cdot \Theta_{a1}(p) + C_1 \cdot \Theta_c(p) = A_1 \cdot F_a(p) - B_1 \cdot F_b(p) \quad (3.2.1)$$

$$(T_2 \cdot p + 1)\Theta_{a1}(p) + (T_2 \cdot p + C)\Theta_{a2}(p) - D \cdot \Theta_{пвт2}(p) = E \cdot F_a(p) + E \cdot F_b(p) \quad (3.2.2)$$

$$(T_3 \cdot p + 1)\Theta_{пвт2}(p) - F \cdot \Theta_{a1}(p) - F \cdot \Theta_{a2}(p) = 0 \quad (3.2.3)$$

$$(T_4 \cdot p + 1)\Theta_c(p) - G \cdot \Theta_{a1}(p) = 0 \quad (3.2.4)$$

Рішення системи рівнянь відбувається методом Крамера.

Визначник матриці системи:

$$\Delta = \begin{pmatrix} T_{1b}p + 1 & 0 & 0 & C_1 \\ T_2 p + 1 & T_2 p + C & -D & 0 \\ -F & -F & T_3 p + 1 & 0 \\ -G & 0 & 0 & T_4 p + 1 \end{pmatrix}; \quad (3.2.5)$$

$$\begin{aligned}
\det \Delta &= (T_{1B}p + 1) \begin{pmatrix} T_2p + C & -D & 0 \\ -F & T_3p + 1 & 0 \\ 0 & 0 & T_4p + 1 \end{pmatrix} - \\
&- C_1 \begin{pmatrix} T_2p + 1 & T_2p + C & -D \\ -F & -F & T_3p + 1 \\ -G & 0 & 0 \end{pmatrix} = \\
&= (T_{1B}p + 1)(T_4p + 1) \begin{pmatrix} T_2p + C & -D \\ -F & T_3p + 1 \end{pmatrix} - C_1 \cdot (-G) \begin{pmatrix} T_2p + C & -D \\ -F & T_3p + 1 \end{pmatrix} = \quad (3.2.6) \\
&= (T_{1B}p + 1)(T_4p + 1)[(T_2p + C)(T_3p + 1) - DF] - \\
&- C_1(-G)[(T_2p + C)(T_3p + 1) - DF]
\end{aligned}$$

Вектори-стовбці керуючої дії та збурення:

$$F_B = \begin{pmatrix} B_1 \\ E \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \dots F_a = \begin{pmatrix} A_1 \\ E \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Доповнення для впливу збурення F_a на Θ_{a2} :

$$\Delta F_a = \begin{pmatrix} T_{1B}p + 1 & A_1 & 0 & C_1 \\ T_2p + 1 & E & -D & 0 \\ -F & 0 & T_3p + 1 & 0 \\ -G & 0 & 0 & T_4p + 1 \end{pmatrix}; \quad (3.2.7)$$

$$\begin{aligned}
\det \Delta F_a &= G \begin{pmatrix} A_1 & 0 & C_1 \\ E & -D & 0 \\ 0 & T_3p + 1 & 0 \end{pmatrix} + (T_4p + 1) \begin{pmatrix} T_{1B}p + 1 & A_1 & 0 \\ T_2p + 1 & E & -D \\ -F & 0 & T_3p + 1 \end{pmatrix} = \\
&= G \cdot C_1 \begin{pmatrix} E & -D \\ 0 & T_3p + 1 \end{pmatrix} + (T_4p + 1) \cdot (T_3p + 1) \begin{pmatrix} T_{1B}p + 1 & A_1 \\ T_2p + 1 & E \end{pmatrix} - F \begin{pmatrix} A_1 & 0 \\ E & -D \end{pmatrix} = \quad (3.2.8) \\
&= G \cdot C_1 \cdot [E(T_3p + 1)] + (T_4p + 1) \cdot (T_3p + 1) [(T_{1B}p + 1) \cdot E - (T_2p + A_1)] - \\
&- F[A_1 \cdot (-D)]
\end{aligned}$$

Передавальна функція за каналом збурення $F_a \rightarrow \Theta_{a2}$:

$$W_{dzb_{F_a\Theta_2}}(p) = \frac{\det \Delta F_a}{\det \Delta} =$$

$$= \frac{G \cdot C_1 \cdot [E(T_3 p + 1)] + (T_4 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) [(T_{1B} p + 1) \cdot E - (T_2 p + A_1)] -}{(T_{1B} p + 1)(T_4 p + 1) [(T_2 p + C)(T_3 p + 1) - DF] -} \quad (3.2.10)$$

$$\frac{-F[A_1 \cdot (-D)]}{-C_1(-G) [(T_2 p + C)(T_3 p + 1) - DF]}$$

Доповнення для впливу керуючої дії F_B на Θ_{a2} :

$$\Delta F_B = \begin{pmatrix} T_{1B} p + 1 & B_1 & 0 & C_1 \\ T_2 p + 1 & E & -D & 0 \\ F & 0 & T_3 p + 1 & 0 \\ -G & 0 & 0 & T_4 p + 1 \end{pmatrix}; \quad (3.2.11)$$

$$\det \Delta F_B = G \begin{pmatrix} B_1 & 0 & C_1 \\ E & -D & 0 \\ 0 & T_3 p + 1 & 0 \end{pmatrix} + (T_4 p + 1) \begin{pmatrix} T_{1B} p + 1 & B_1 & 0 \\ T_2 p + 1 & E & -D \\ -F & 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} =$$

$$= G \cdot C_1 \begin{pmatrix} E & -D \\ 0 & T_3 p + 1 \end{pmatrix} + (T_4 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) \begin{pmatrix} T_{1B} p + 1 & B_1 \\ T_2 p + 1 & E \end{pmatrix} - F \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ E & -D \end{pmatrix} = \quad (3.2.12)$$

$$= G \cdot C_1 \cdot [E(T_3 p + 1)] + (T_4 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) [(T_{1B} p + 1) \cdot E - (T_2 p + B_1)] -$$

$$-F[B_1 \cdot (-D)]$$

Передавальна функція за каналом керування $F_B \rightarrow \Theta_{a2}$:

$$W_{dker_{F_B\Theta_2}}(p) = \frac{\det \Delta F_B}{\det \Delta} =$$

$$= \frac{G \cdot C_1 \cdot [E(T_3 p + 1)] + (T_4 p + 1) \cdot (T_3 p + 1) [(T_{1B} p + 1) \cdot E - (T_2 p + B_1)] -}{(T_{1B} p + 1)(T_4 p + 1) [(T_2 p + C)(T_3 p + 1) - DF] -} \quad (3.2.13)$$

$$\frac{-F[B_1 \cdot (-D)]}{-C_1(-G) [(T_2 p + C)(T_3 p + 1) - DF]}$$

4 Перехідні характеристики за каналами керування і збурення

Перехідні характеристики отримуємо методом зворотного перетворення за Лапласом передавальної функції при одиничному вході

$$H_{\ker_{F_b\Theta_{a2}}}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot W_{\ker_{F_b\Theta_{a2}}}(p)\right] \quad (4.1)$$

$$H_{zb_{F_a\Theta_{a2}}}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot W_{zb_{F_a\Theta_{a2}}}(p)\right] \quad (4.2)$$

$$H_{d\ker_{F_b\Theta_{a2}}}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot W_{d\ker_{F_b\Theta_{a2}}}(p)\right] \quad (4.3)$$

$$H_{dzb_{F_a\Theta_{a2}}}(t) = L^{-1}\left[\frac{1}{p} \cdot W_{dzb_{F_a\Theta_{a2}}}(p)\right] \quad (4.4)$$

Коефіцієнти в системі рівнянь знайдені за даними основного (3.1.1), (3.1.2), (3.1.3) статичного режиму наведеного в таблиці 3, будуть наступними:

$$T_1 = 0,001; \quad (4.5)$$

$$T_2 = 0,00003; \quad (4.6)$$

$$T_3 = 0,0116; \quad (4.7)$$

$$T_4 = 0,77; \quad (4.8)$$

$$T_{1B} = 0,0008; \quad (4.9)$$

$$A = 0,0116; \quad (4.10)$$

$$A_1 = 0,0385; \quad (4.11)$$

$$B = 0,0116; \quad (4.12)$$

$$B_1 = -0,029; \quad (4.13)$$

$$C = -0,111; \quad (4.14)$$

$$C_1 = 0,22; \quad (4.15)$$

$$D = 0,444; \quad (4.16)$$

$$E = 0,008; \quad (4.17)$$

$$F = 0,041; \quad (4.18)$$

$$G = 0,45; \quad (4.19)$$

Враховуючи (4.1 – 4.19) і вирази (3.1.6), (3.1.8) за допомогою пакету MathCad та MatLab знайдено перехідні характеристики за каналами керування та збурення. Графіки перехідних характеристик наведені на рисунках 10, 11.

$$W_{ker}(p) := \frac{(T1 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1) \cdot E - B[(T2 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1) + DF]}{(T1 \cdot p + 1)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) + DF]} \quad (4.20)$$

$$W_{zb}(p) := \frac{(T1 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1) \cdot E - A[(T2 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1) + DF]}{(T1 \cdot p + 1)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) + DF]} \quad (4.21)$$

Перехідна характеристика ТОК за каналом керування:

$$H_{ker}(t) := \frac{W_{ker}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{simplify} \rightarrow \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \frac{-1.0 \cdot (0.129 \cdot p + 0.768)}{0.0173 \cdot p + 0.0000132 \cdot p^2 + 1.0} \rightarrow \frac{-0.129 \cdot p - 0.768}{0.0173 \cdot p + 0.0000132 \cdot p^2 + 1.0}$$

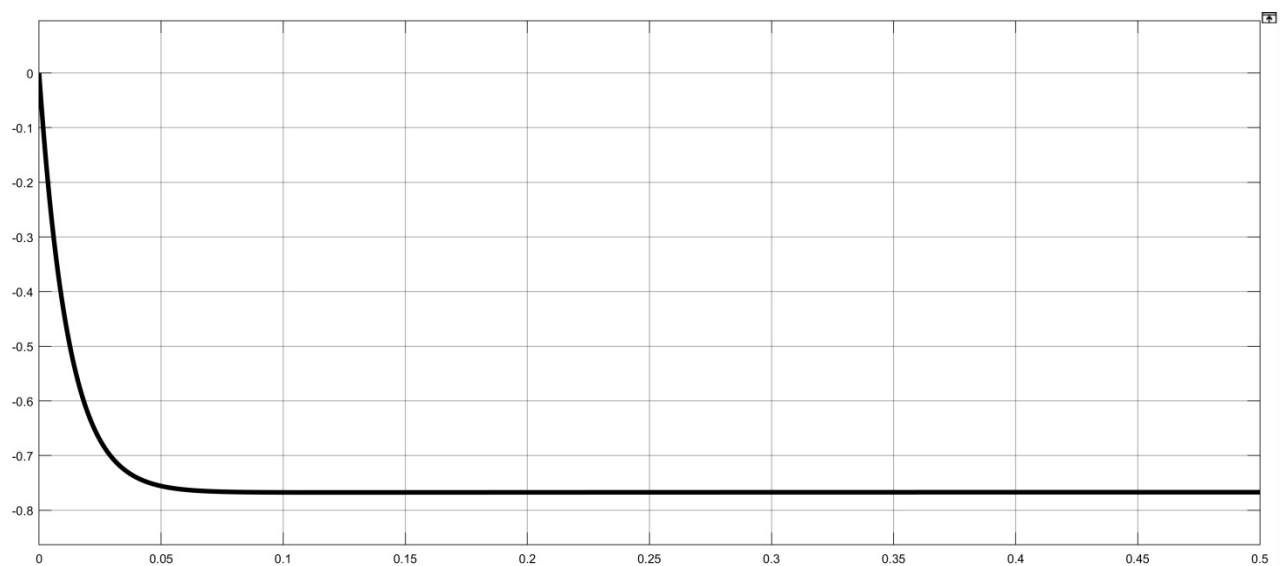


Рис. 10 Перехідна характеристика ТОК за каналом керування

Перехідна характеристика ТОК за каналом збурення:

$$H_{zb}(t) := \frac{W_{zb}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{simplify} \rightarrow \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \frac{0.0929 \cdot p + 0.6886}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0} \rightarrow \frac{0.0929 \cdot p + 0.6886}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0}$$

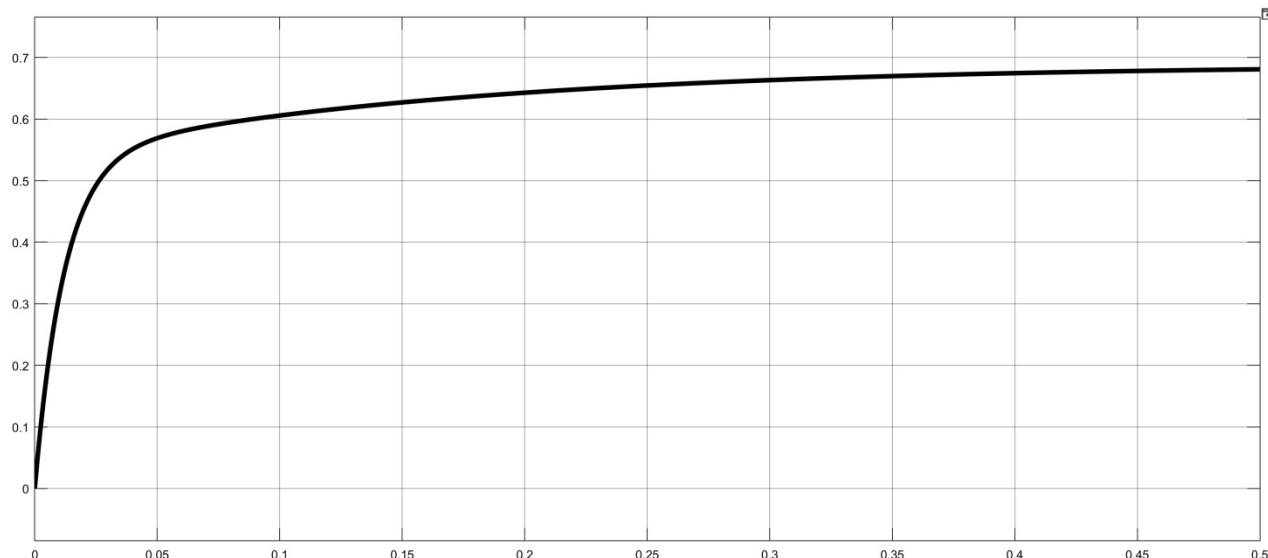


Рис. 11 Перехідна характеристика ТОК за каналом збурення

Враховуючи (4.1 – 4.19) і вирази (3.2.10), (3.2.13) за допомогою пакету MathCad та MatLab знайдено перехідні характеристики за каналами керування та збурення враховуючи допущення наведені в пункті 3.2.

Графіки перехідних характеристик наведені на рисунках 12, 13.

Перехідні характеристики за каналами керування та збурення відносно (3.2.10 та 3.2.13):

$$W_{dker}(p) := \frac{G \cdot C1[E \cdot (T3 \cdot p + 1)] + (T4 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1)[(T1b \cdot p + 1) \cdot E - (T2 \cdot p + B1)] - F \cdot [B1 \cdot (-D)]}{(T1b \cdot p + 1)(T4 \cdot p + 1)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) - DF] - C1(-G)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) - DF]} \quad (4.22)$$

$$W_{dzb}(p) := \frac{G \cdot C1[E \cdot (T3 \cdot p + 1)] + (T4 \cdot p + 1)(T3 \cdot p + 1)[(T1b \cdot p + 1) \cdot E - (T2 \cdot p + A1)] - F \cdot [A1 \cdot (-D)]}{(T1b \cdot p + 1)(T4 \cdot p + 1)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) - DF] - C1(-G)[(T2 \cdot p + C)(T3 \cdot p + 1) - DF]} \quad (4.23)$$

Перехідна характеристика ТОК за каналом керування відносно (3.2.13):

$$H_{dker}(t) := \frac{W_{dker}(p)}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{simplify} \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \rightarrow -\frac{1.0 \cdot (0.00788 \cdot p + 0.767)}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0} \rightarrow -\frac{0.00788 \cdot p + 0.767}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0}$$

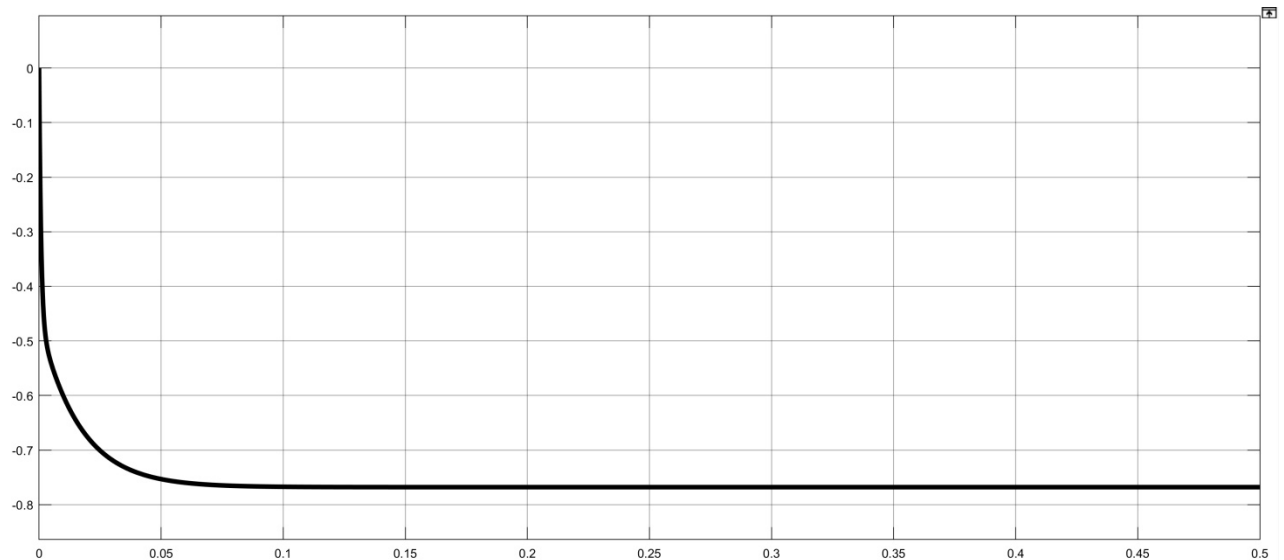


Рис. 12 Перехідна характеристика ТОК за каналом керування враховуючи доповнення

Перехідна характеристика ТОК за каналом збурення відносно (3.2.10):

$$H_{dzb}(t) := \frac{W_{dzb}(p)}{p} \quad \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace} \\ \text{simplify} \rightarrow \\ \text{float}, 3 \end{array} \right. \frac{1.0 \cdot (0.00697 \cdot p + 0.74)}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0} \rightarrow \frac{0.00697 \cdot p + 0.74}{0.181 \cdot p + 0.00203 \cdot p^2 + 1.0}$$

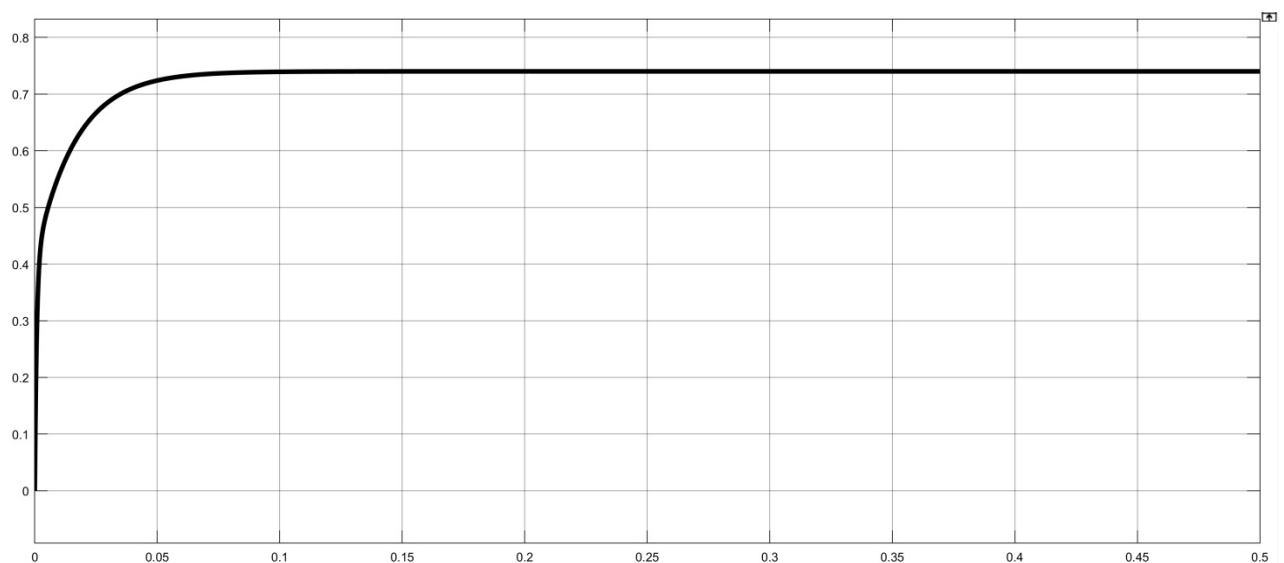


Рис. 13 Перехідна характеристика ТОК за каналом збурення враховуючи доповнення

Порівняння перехідних характеристик ТОК за каналом керування відносно пунктів 3.1 та 3.2 :

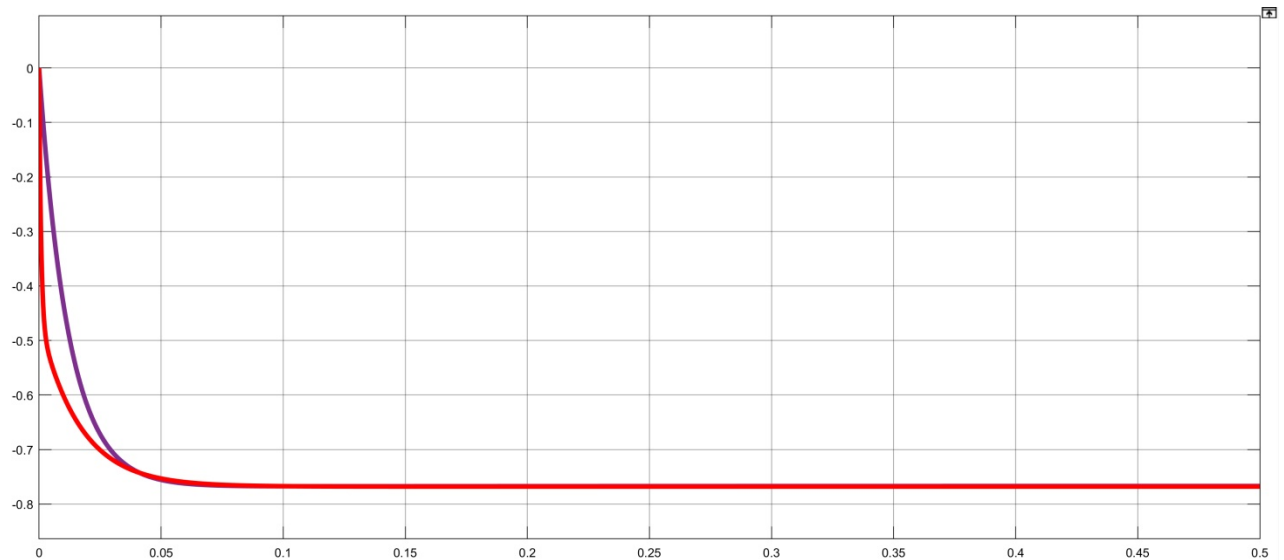


Рис. 14 Порівняння перехідних характеристик ТОК за каналом керування враховуючи доповнення та не враховуючи доповнення

Порівняння перехідних характеристик ТОК за каналом збурення відносно пунктів 3.1 та 3.2:

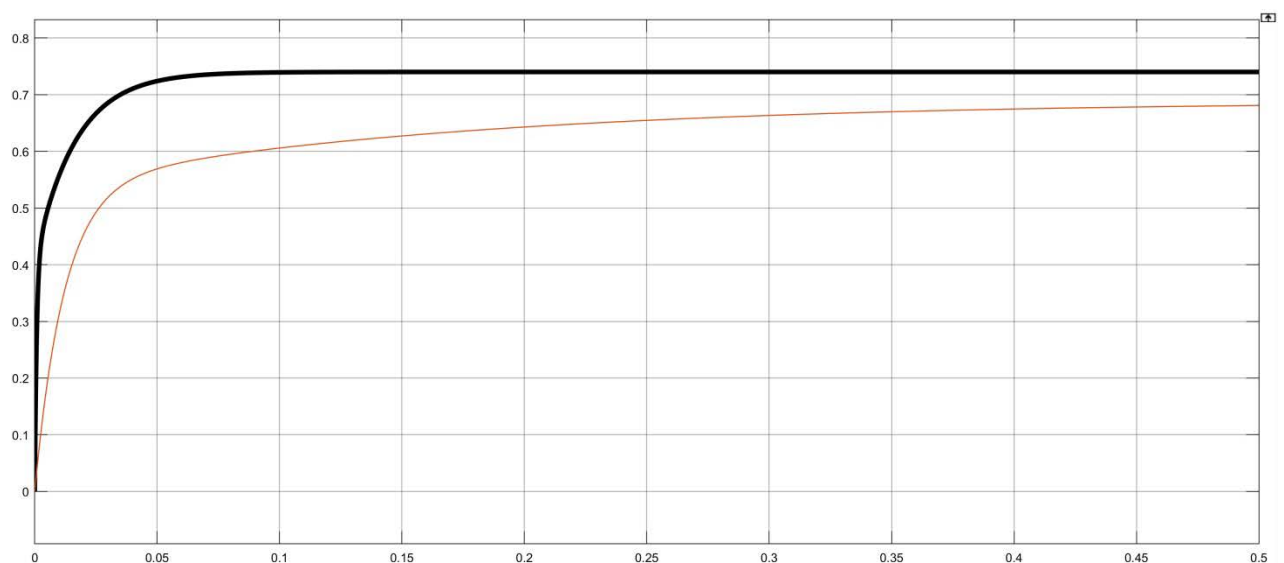


Рис. 15 Порівняння перехідних характеристик ТОК за каналом збурення враховуючи доповнення та не враховуючи доповнення

Висновок: було отримано перехідні характеристики за каналами керування та збурення з врахуванням втрат тепла в навколишнє середовище та без них. В результаті моделювання було виявлено значний вплив теплових втрат на динаміку об'єкта. Тому, якщо в апараті наявні дефекти футеровки, що призводять до значних тепловтрат, то необхідно використовувати моделі з врахуванням відповідного відсотку теплових втрат. При незначних теплових втратах можна використовувати моделі без урахування теплових втрат отримуючи моделі достатньо високої точності.

5 Синтез системи керування

Для каналу керування: витрата води – температура аерозолю в підігрівнику.
Структура замкненої системи керування з від'ємним зворотним зв'язком зображена на рисунку 10.

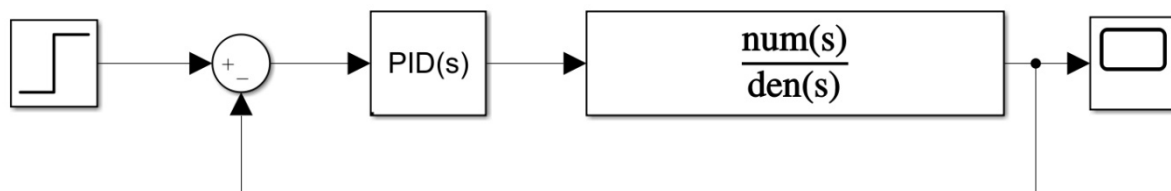


Рис. 10 Структура замкненої системи керування з від'ємним зворотним зв'язком

5.1 Налаштування стандартних регуляторів за допомогою середовища MATLAB

Синтез П регулятора

Параметри регулятора:

Proportional (P): 43.8465304424417

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з П регулятором зображена на рисунку 11.

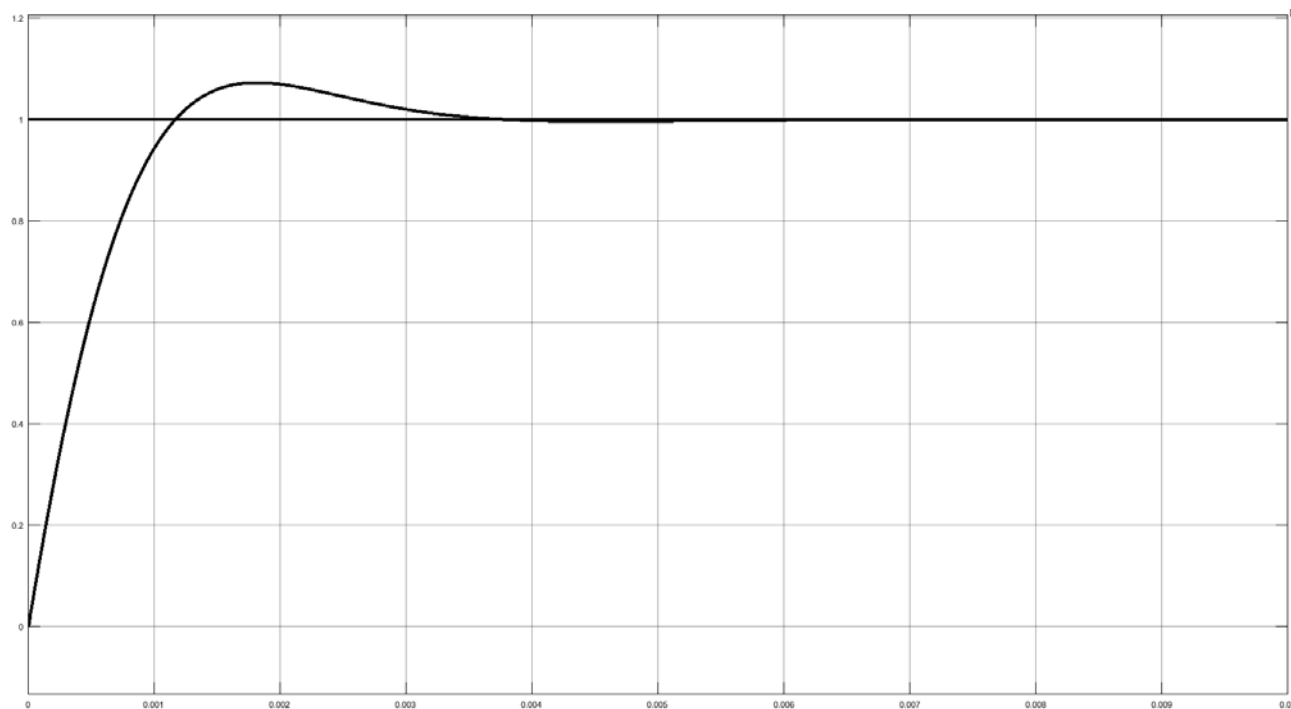


Рис.11 перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування сировини з П регулятором

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ

Арк.

53

Синтез І регулятора:

Параметри регулятора:

Integral (I):

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з І регулятором зображена на рисунку 12.

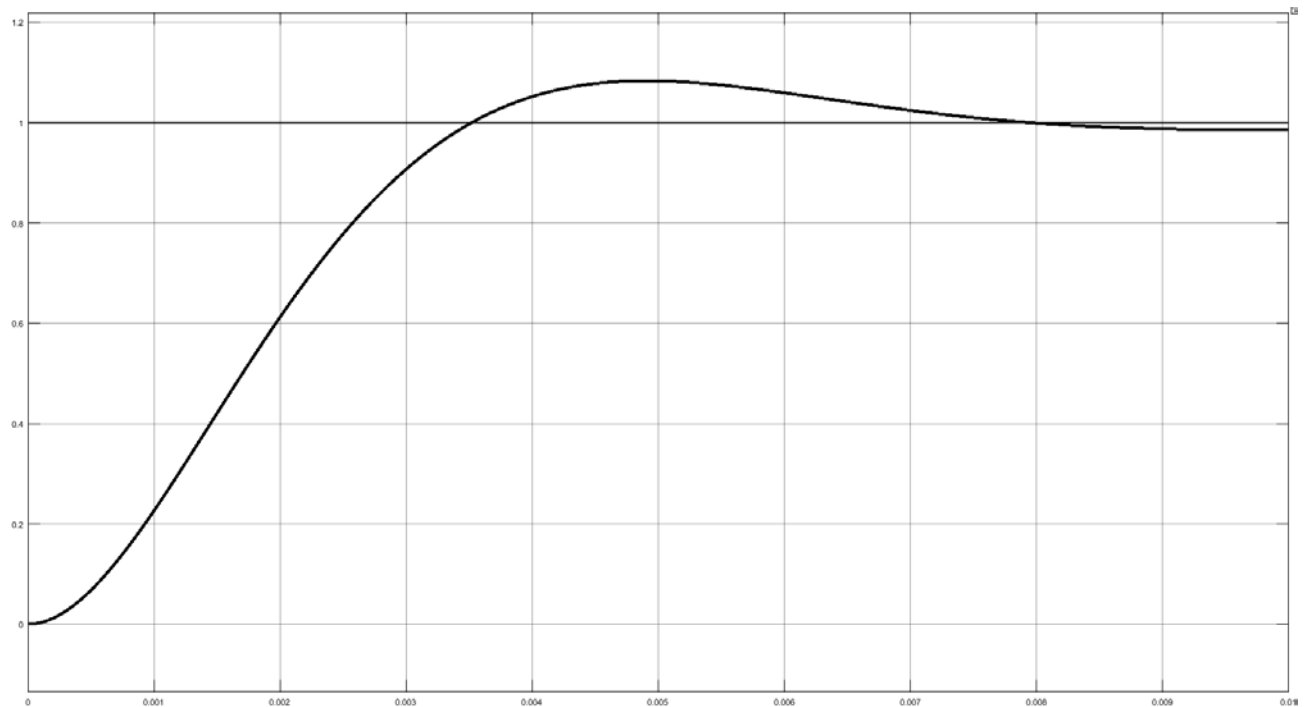


Рис 12 Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з І регулятором

Синтез ПД регулятора:

Параметри регулятора:

Proportional (P):

Derivative (D):

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПД регулятором зображена на рисунку 13.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ

Арк.

54

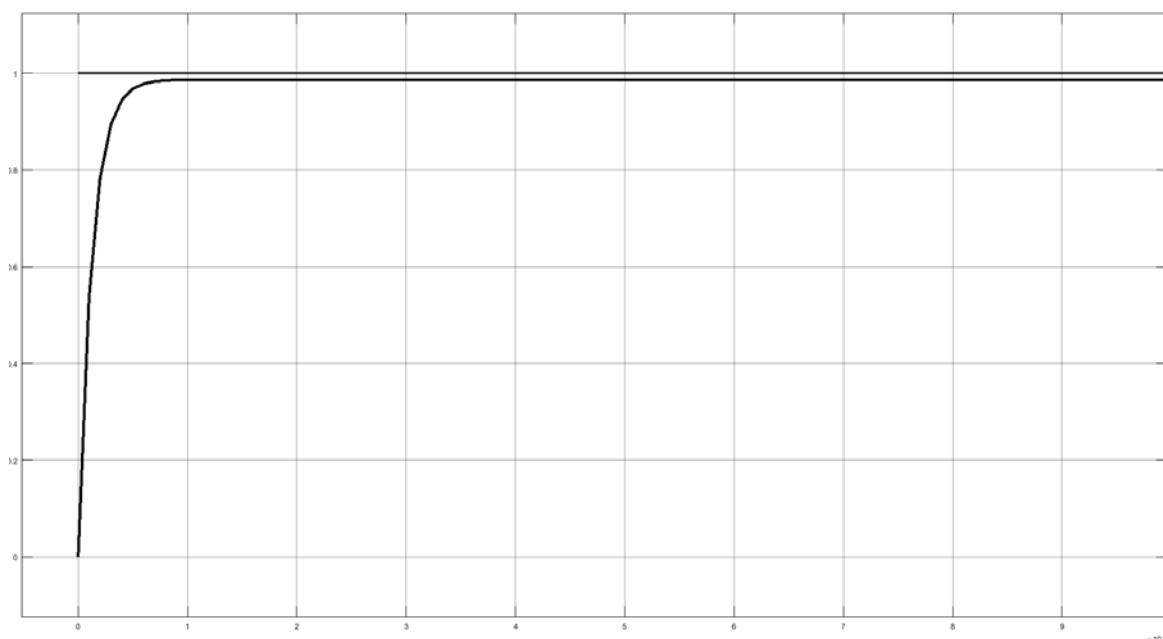


Рис. 13 Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПД регулятором

Синтез ПІ регулятора:

Параметри регулятора:

Proportional (P): 23.7143619138893

Integral (I): 69636.8149599808

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПІ регулятором зображена на рисунку 14.

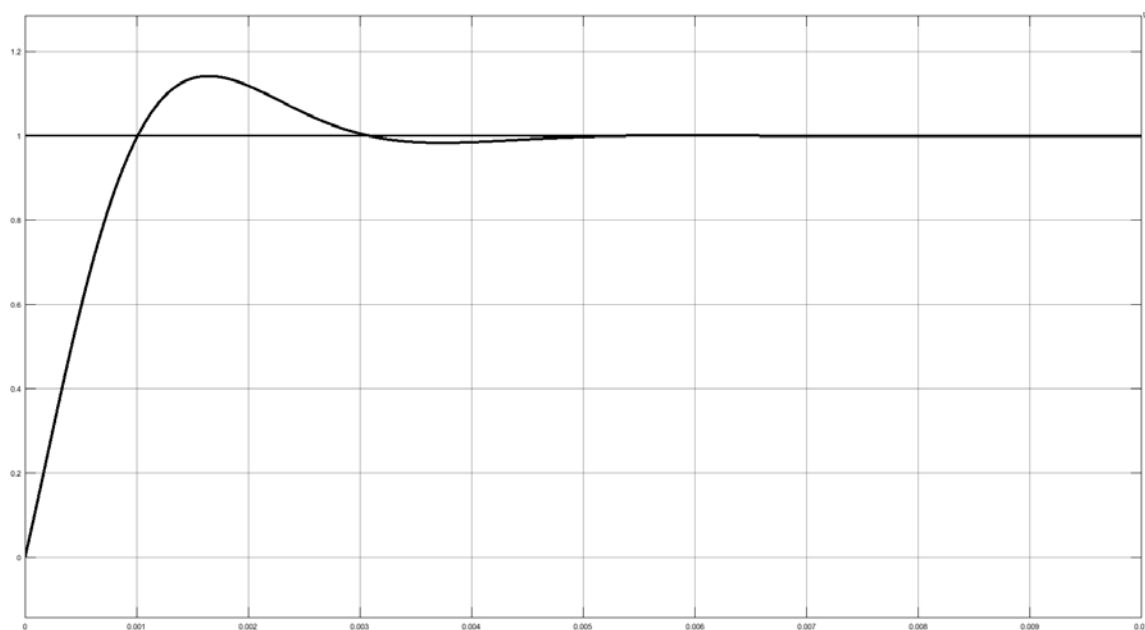


Рис. 14 Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПІ регулятором

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ

Арк.

55

Синтез ПІД регулятора:

Параметри регулятора:

Proportional (P):	30.7340620481735
Integral (I):	58544.0540647411
Derivative (D):	-0.000142427276092469

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПІД регулятором зображена на рисунку 15.

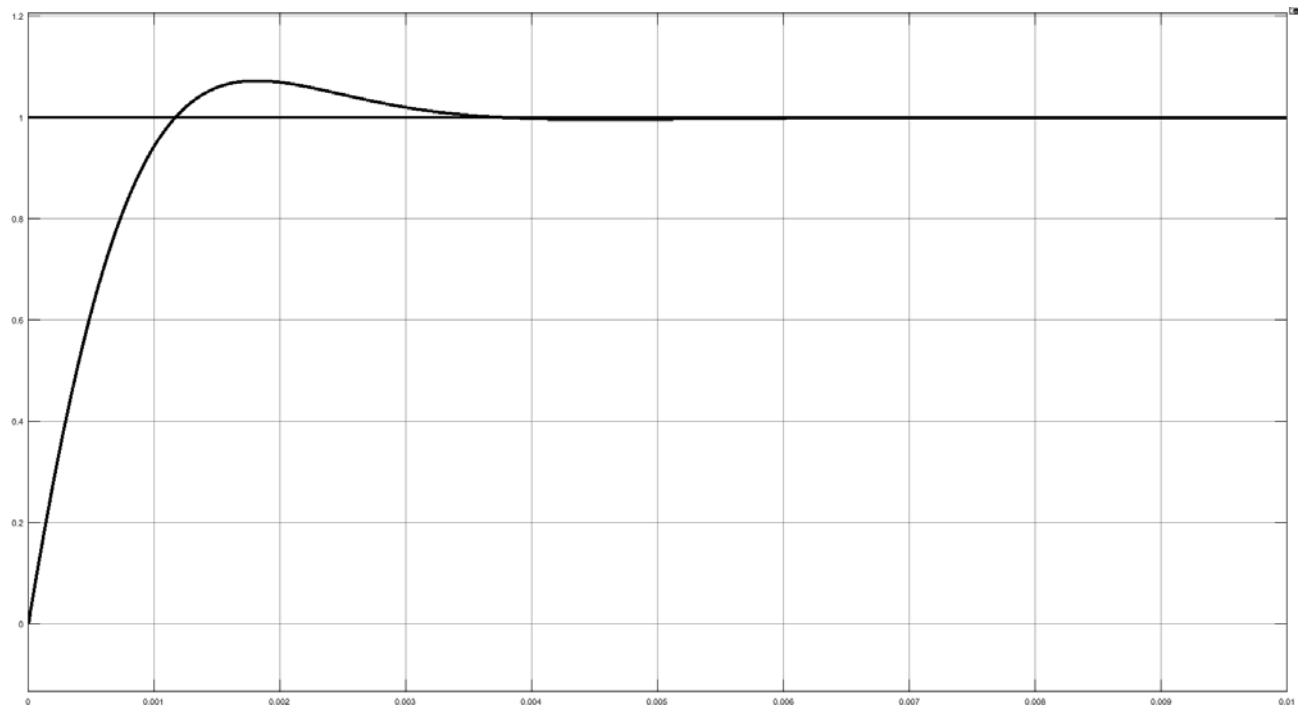


Рис. 15 Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування з ПІД регулятором

Порівняння параметрів якості перехідного процесу для різних типів регулятору знаходиться в таблиці 4.

Таблиця 4

Порівняльна таблиця значень регуляторів

Регулятор	Час виходу (год)	Перерегулювання	Статична похибка
П – регулятор	0,0018	0	0.32
I – регулятор	0,008	0.06	0
ПД – регулятор	0,9	0,11	0,02
ПІ – регулятор	0,0052	0.15	0
ПІД – регулятор	0,0035	0.08	0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ

Арк.

56

5.2 Налаштування системи керування методом Циглера-Нікольса

Синтез системи за методом Циглера-Нікольса проводився в математичному пакеті SISOTool.

Структура системи керування $F_b \rightarrow \Theta_{a2}$ зображена на рисунку 16.

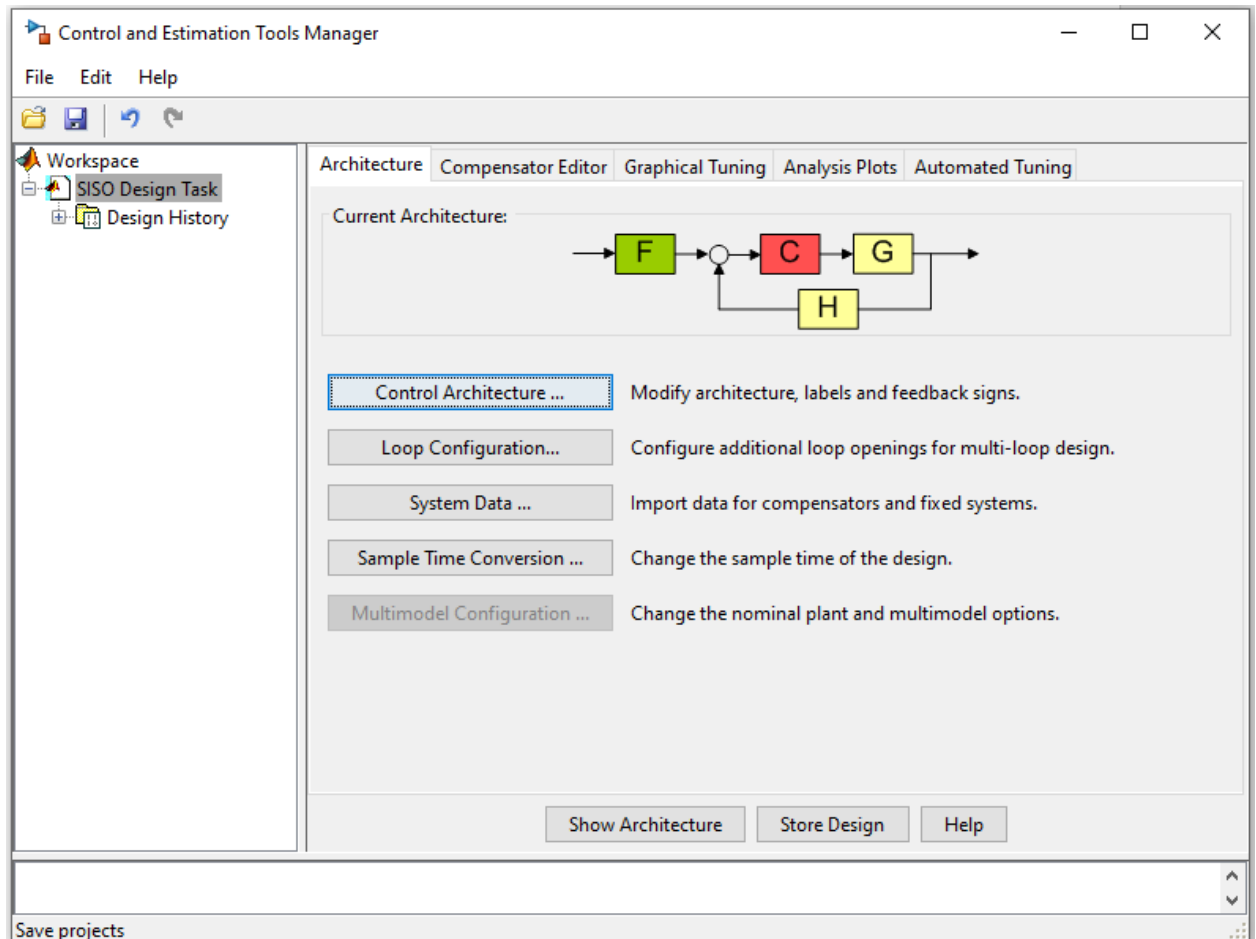


Рис. 16 Структура системи керування методом Циглера-Нікольса в математичному пакеті SISOTool

Далі було обрано у вкладці Automated Tuning класичні методи налаштування, а саме Циглер–Нікольс. Результат зображено на рисунку 17.

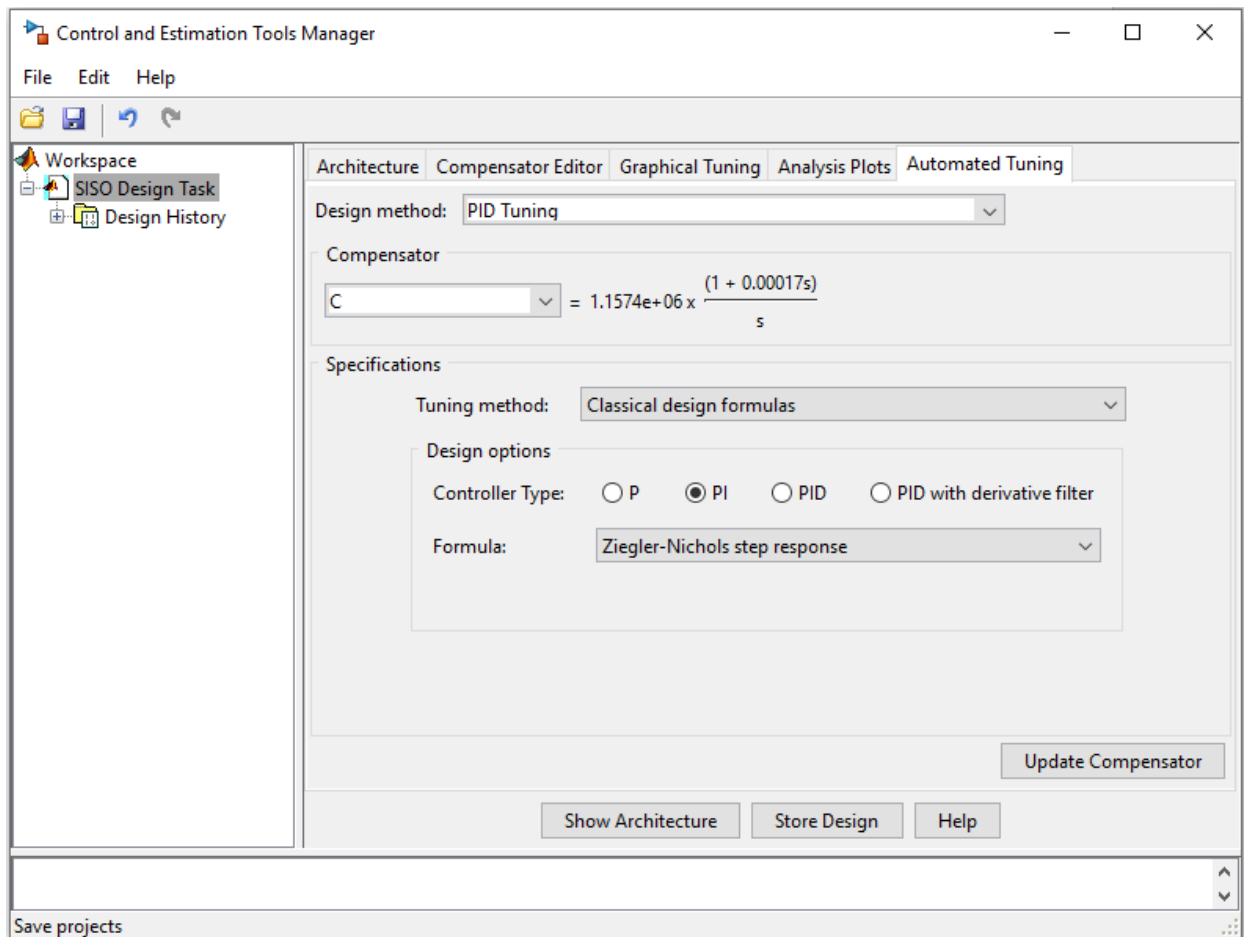


Рис. 17 Вибір методу Циглера –Нікольса у вкладці Automated Tuning

Параметри регулятора:

Design method: PID Tuning

Compensator

C = $1.1574e+06 \times \frac{(1 + 0.00017s)}{s}$

Перехідна характеристика замкненої системи за каналом керування зображена на рисунку 18.

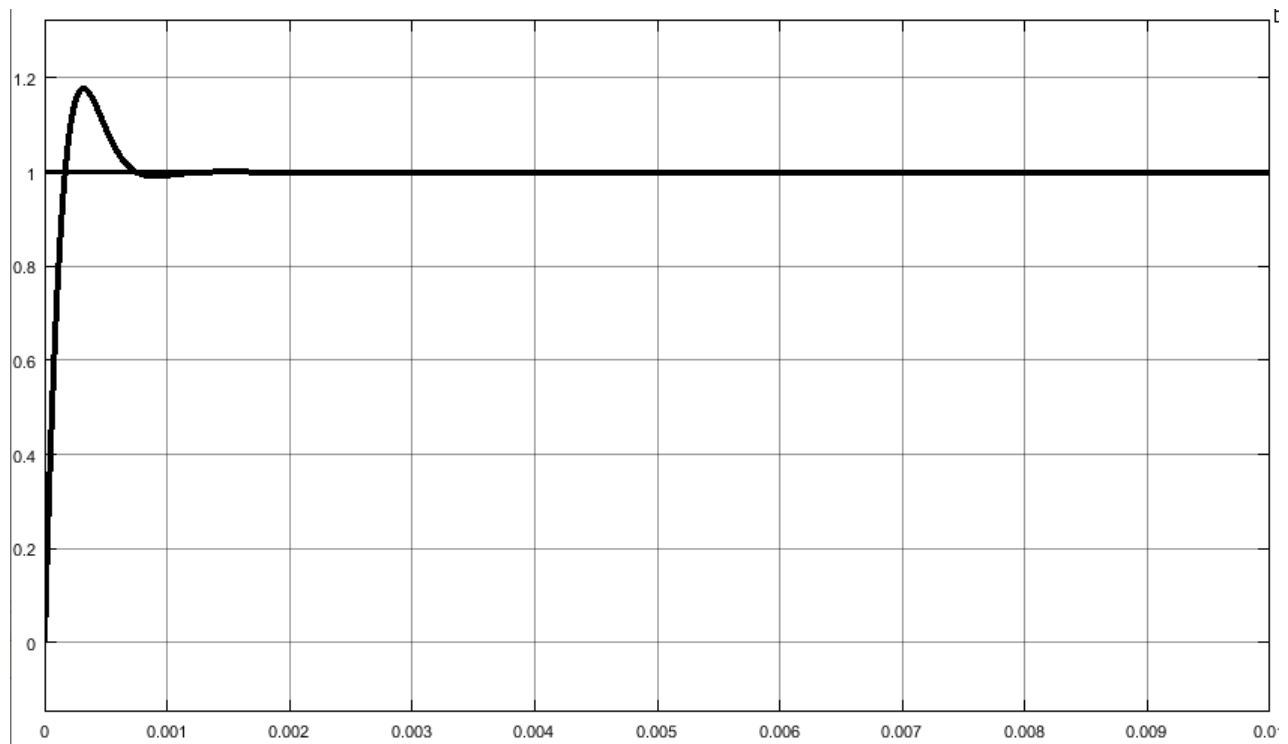


Рис. 17 Перехідна характеристика замкненої системи
за каналом керування методом Циглера –Нікольса

Параметри якості перехідного процесу методом Циглера –Нікольса знаходяться в таблиці 5.

Таблиця 5

Параметри якості перехідного процесу методом Циглера –Нікольса

Регулятор	Час виходу (год)	Перерегулювання	Статична похибка
ПІ – регулятор	0,0052	0.15	0

Наразі налаштований регулятор було експортовано в робочий простір і виконана команда $pic(C)$ та отримані коефіцієнти K_p , K_i .

Далі ці коефіцієнти було завантажено в стандартний блок контролера Simulink і побудована наступна схема. Перехідні характеристики усіх регуляторів зображено на рисунку 18.

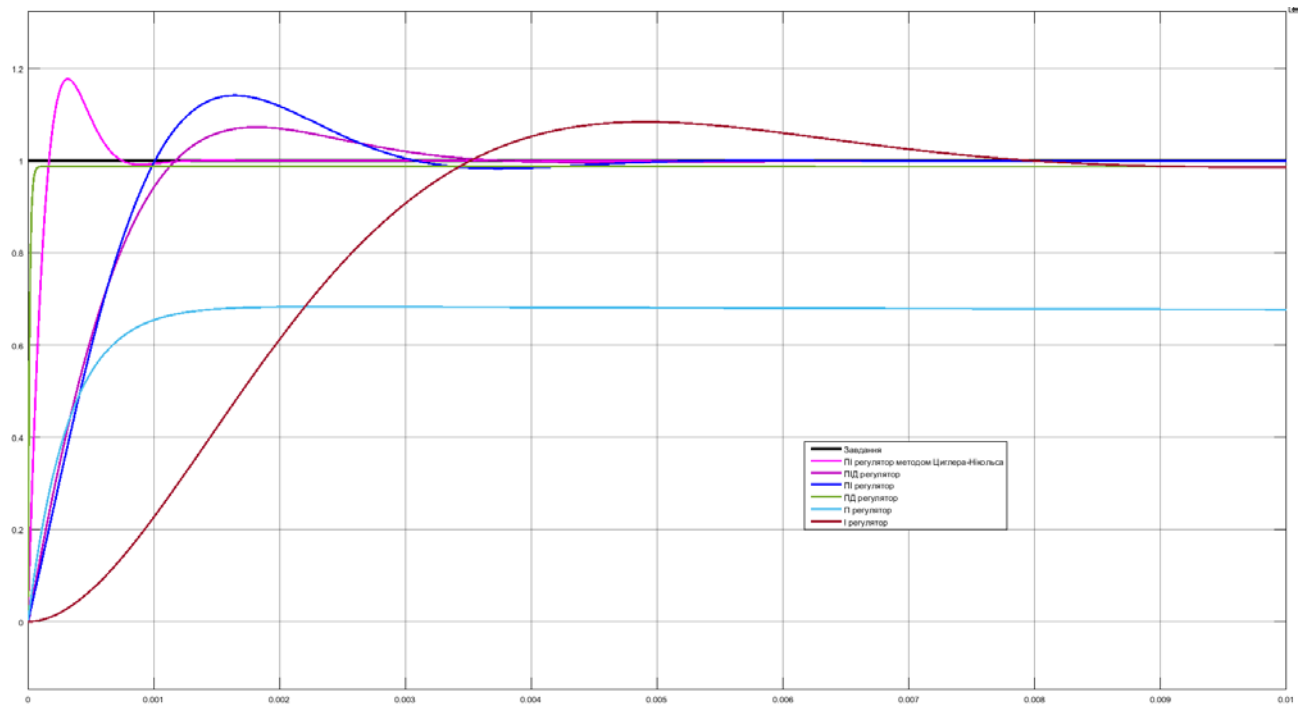


Рис. 18 Перехідні характеристики замкненої системи для всіх регуляторів

Висновок: було синтезовано П, І, ПД, ПІ, ПІД регулятори за допомогою автоналаштування в Simulink, а також ПІ регулятор методом Циглера-Нікольса. Найшвидше відпрацював ПД регулятор проте він має статичну похибку 0,02. Найшвидше без статичної похибки відпрацював ПІ регулятор налаштований методом Циглера-Нікольса, але він має найбільше перерегулювання (вказати). Найшвидше без статичної похибки та з найменшим перерегулюванням відпрацював ПІД регулятор налаштований за допомогою автоналаштування в Simulink (час виходу на усталений режим 0,0035 та перерегулювання 0,08).

6.Схема автоматизації технологічного процесу отримання та уловлювання технічного вуглецю

Контроль та регулювання подачі сировини здійснюється за допомогою камерної діафрагми ДКС1,6-75 (2-1) та перетворювача з цифровим інтерфейсом DSP-01 (2-2), вторинного диференціально-трансформаторного показувального приладу КД140 (2-3), пропорційно-інтегральному пневматичному регуляторі ФР0091 (2-4), реле перемикання ПП2.5-М1 (2-5) та регулюючого клапану 25ч30нж (2-6).

Контроль та регулювання подачі природного газу, що використовується у якості палива, здійснюється за допомогою камерної діафрагми ДКС1,6-80 (1-1) та перетворювача з цифровим інтерфейсом DSP-01 (1-2), вторинного диференціально-трансформаторного показувального приладу КД140 (1-3), пневматичного регулятора ФР0091 (1-4) та регулюючого клапану МИМ-к ПОУ 25ч30нж (1-5).

Контроль та регулювання витрати повітря низького тиску здійснюється за допомогою камерної діафрагми ДКС1,6-100 (3-1) та перетворювача з цифровим інтерфейсом DSP-01 (3-2), вторинного диференціально - трансформаторного показувального приладу КД140 (3-3), пневматичному регуляторі ФР0091 (3-4), реле перемикання ПП2.5-М1 (3-5) та регулюючого клапану МИМ-к ПОУ 25ч30нж (3-6).

Контроль витрати повітря високого тиску здійснюється за допомогою камерної діафрагми ДКС1,6-100 (5-1) та перетворювача з цифровим інтерфейсом DSP-01 (5-2), вторинного реєструвального приладу ПВ4.3Е (5-3) та регулюючого клапану МИМ-к ПОУ 25ч30нж (5-4). Витрата повітря високого тиску дублюється камерною діафрагмою ДКС1,6-100 (9-1), дифманометра з пневматичною компенсацією 13ДД11 (9-2) та вторинного пневматичного реєструвального приладу ПВ4.4Э (9-3).

Контроль витрати води, що подається до зони гартування здійснюється камерною діафрагмою ДКС1,6-100 (8-1), перетворювача з цифровим інтерфейсом DSP-01 (8-2) та вторинного пневматичного реєструвального приладу

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

ПВ4.4Э (8-3). Регулювання подачі очищеної води здійснює пневматична панель управління ПП12.2 (11-1) та пневматичний регулюючий клапан МИМ-к ПОУ 25ч30нж (11-2).

Контроль температури в зоні гартування здійснюється за допомогою радіаційного пірометра ТЕРА-50 (4-1) результати вносяться на регістратор паперовий РМТ-49-ДМ/1 (4.2).

За допомогою термопари ТХА-1-3В здійснюється контроль температури аерозолі: перед циклонами (13-1); в трубопроводі, що прямує до другого циклону, на доуловлювання технічного вуглецю (13-4); перед уловлюванням системою фільтрів (13-2); в трубопроводі для скидання газів, що йдуть на спалювання (13-3).

Контроль та регулювання тиску здійснюється за допомогою вимірювального перетворювача САФІР22 ДИ-2110 перед циклонами (14-1) та перед уловлюванням системою фільтрів (15-1). Інформація з перетворювачів поступає на регістратор паперовий РМТ-49-ДМ/3 (14-2).

Технологічна сигналізація задіяна на реакторному, циклонному контурах та системі уловлювання у фільтрах. Аварійна сигналізація задіяна на семи виробничих двигунах.

За допомогою дистанційного керування управляють витратою природного газу, витратою сировини, витратою повітря на спалювання, здійснюють контроль за температурою аерозолі в підігрівнику повітря, подача очищеної води, перепадом тиску в холодильнику-зрошувачі, температурою подачі аерозолі в циклон, перепад тиску при подачі аерозолі в циклони та на спалювання газів. Також дистанційно керується система уловлювання технічного вуглецю у восьмисекційних фільтрах.

На кресленні ДП ЛА-зг61-1.00.01.001 СхА показана схема автоматичії.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

7. Проектні рішення з автоматизації

7.1. Схема керування роботою електродвигунів

При натисканні кнопки увімкнення електродвигуна спрацьовує магнітний пускач, далі замикається ланцюг цього магнітного пускача, контакт сигналізації вмикання магнітного пускача та три контакти живлення електродвигуна. Одночасно розмикається контакт сигналізації вимкнення магнітного пускача.

Для вмикання та вимикання живлення електродвигунів використовуються магнітні пускачі – МП1, МП2, МП3, МП4, МП5, МП6, МП7.

Для захисту від перевантаження та короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі – FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6, FP7, FP8, FP9, , FP10, FP11, FP12, FP13, FP14.

Для запобігання згорання магнітних пускачів в ланцюги струму підключаються плавкі запобіжники – FU1, FU2, FU3, FU4, FU5, FU6, FU7.

Для вимикання живлення використовуються кнопки вимикання живлення електродвигунів – SB2, SB4, SB6, SB8, SB10, SB12, SB14. Для вмикання живлення - кнопки вмикання живлення електродвигунів – SA1, SA3, SA5, SA7, SA9, SA11, SA13.

Для запобіжного відключення живлення електродвигунів – SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6, SA7.

Для сигналізації увімкнутих електродвигунів встановлюються лампочки червоного кольору – HL13, HL15, HL17, HL19, HL21, HL23, HL25.

Для сигналізації вимкнутих електродвигунів встановлюються лампочки зеленого кольору – HL12, HL14, HL16, HL18, HL20, HL22, HL24.

На принциповій електричній схемі ДП ЛА-зг61-1.00.01.002 СхЕ показана схема керування роботою усіх задіяних електродвигунів.

7.2. Схема монтажно-комутаційна

Для дистанційного запуску електродвигунів вентиляторів 24, що задіяні у системі продувки фільтрів, використовуються магнітні пускачі МП5 та МП6, які керуються з щита керування кнопками SB9, SB11 - для увімкнення та

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

SB10, SB12 - для вимкнення. Сигнальні лампи HL21, HL23 - є індикаторами увімкнення електродвигунів. Сигнальні лампи HL20, HL22 - є індикаторами вимкнення електродвигунів. SA5, SA6 - кнопки запобіжного відключення, які знаходяться на двигунах.

Дистанційному керуванню підлягають:

- електропривід вентилятору M1 (SB1, SB2, SA1 на щиті);
- електропривід вентилятору M2 (SB3, SB4, SA2 на щиті);
- електропривід вентилятору M3 (SB5, SB6, SA3 на щиті);
- електропривід вентилятору M4 (SB7, SB8, SA4 на щиті);
- електропривід вентилятору M5 (SB9, SB10, SA5 на щиті);
- електропривід вентилятору M6 (SB11, SB12, SA6 на щиті);
- електропривід вентилятору M7 (SB13, SB14, SA7 на щиті);

Монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування та технологічних блокувань представлена на кресленні ДП ЛА-зг61-1.00.01.003 СхМ.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

8.Охорона праці

В процесі керування зоною гартування технічного вуглецю, маємо справу з природним газом, вуглеводневою сировиною, водою високої температури, повітрям високого та низького тиску. Тому для забезпечення безпеки потрібно суворо виконувати заданий режим, неперервно слідкувати за роботою апаратури, забороняється залишати її без нагляду.

Цей розділ розроблено для дипломного проекту на тему: “Автоматизація процесу керування у виробництві технічного вуглецю”. При проектуванні було розроблено заходи, що забезпечують безпеку персоналу виробництва в процесі експлуатації приладів, засобів автоматизації, щитових пристроїв системи автоматики у відповідності до Державних актів, що забезпечують виконання Закону України «Про охорону праці».

При обслуговуванні системи керування зоною гартування у процесі виробництва технічного вуглецю, оператор знаходиться в операторській ($S = 9 \text{ м}^2$, $V = 30 \text{ м}^3$). На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- виробничий шум;
- освітлення;
- електробезпека;
- пожежна безпека.

8.1. Аналіз та заходи по забезпеченню безпеки

8.1.1 Виробничий шум

У процесі головними джерелами шуму й вібрації є вентилятори, електро-двигуни, ємності, що працюють під тиском.

Одними з джерел шуму є вентилятори і насоси, гучність роботи яких сягає 100 дБА. Тривалий вплив інтенсивного шуму на слух приводить до його часткової або повної втрати.

Оскільки шум від вентиляційного агрегату поширюється через повітряне середовище, по будівельних конструкціях і через стінки повітропроводів, бо-

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ротьба з шумом може здійснюватися, методом зниження початкової гучності вентиляційного агрегату і насосів, ізоляцією агрегатів за допомогою віброзахисних елементів. Амортизатори вібрацій виготовляють зі сталевих пружин чи гумових прокладок. Фундаменти під відцентрові насоси ізолюють азбестом, для зменшення вібрації. Застосовують також звукопоглинаючі матеріали, такі як скловолокно, поролон для повітропроводів і облицювання вентиляційних систем.

Для зниження шуму застосовуються наступні заходи, що дають змогу знизити шум до 65 дБА відповідно до ДСН 3.3.6037-99.

Як індивідуальні засоби захисту від шуму, використовують легкі протишумові навушники ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, що складаються з наголовка (пружина) і навушників. Призначені для захисту органів слуху від дії середньо- та високочастотного шуму з рівнем до 115дБА. Ущільнюючі прокладки яких виконано з поролону та плівки ПВХ платифікованої. Зусилля притискання регулюється згинанням та розгинанням наголовника, виготовленого з пружної сталеної стрічки. Також використовують протишумні вкладиші «Беруші СТ-1» ТУУ 25513947.002-99, що призначені для індивідуального захисту органів слуху від виробничих і побутових шумів. Протишумові вкладиші – це квадрати з двошарового волокнистого матеріалу типу ФП (ФПП-15-15; РФМ-1,7), обмежені з двох сторін марлевими прокладками, що безпосередньо перед використанням видаляються.

До організаційних заходів відносять: устаткування робочих місць, постійний контроль режиму праці і відпочинку працівників, обмеження застосування обладнання та використання робочих місць, що не відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

8.1.2 Виробниче освітлення

На виробництві використовують штучне висвітлення, освітленість відповідає III розряду зорових робіт при газорозрядних лампах повинна бути $E_n=250$ Лк.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поставимо 9 світлодіодних ламп $W = 12$ Вт, $F_l=1200$, строк служби 25000 годин, що забезпечать освітленість приміщення для даного розряду робіт. При цьому $E_{\text{факт}}=300$ Лк.

Освітленість приміщення відповідає нормам ДНБ В 25.28-2006.

8.1.3 Електронебезпека

Відповідно до правил улаштування електроустановок виробництва за небезпекою електротравм відноситься до приміщення без підвищеної небезпеки.

В приміщенні застосовується трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з глухозаземленою нейтраллю та частотою 50 Гц.

Основні система технічних засобів і заходів, що застосовуються для забезпечення електробезпеки при нормальному режимі роботи електроустановок в цеху включають:

- ізоляція струмовідних частин - забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок;

- недоступність струмовідних частин – застосовуються закриті комутаційні апарати, неізольовані струмовідні частини розміщуються на висоті, недосяжній для ненавмисного доторкання до них інструментом, різного роду пристосуваннями, обмежується доступ сторонніх осіб в електротехнічні приміщення;

- механічні блокування безпеки - унеможливають доступ до неізольованих струмовідних частин без попереднього зняття з них напруги, попереджують помилкові оперативні та керуючі дії персоналу при експлуатації електроустановок, не допускають порушення рівня електробезпеки та вибухозахисту електрообладнання;

- засоби орієнтації в електроустановках - дають можливість персоналу чітко орієнтуватися при монтажі, виконанні ремонтних робіт і запобігають

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помилковим діям, а саме: знаки безпеки на щитку, різні кольори фазування фаз, таблички «не входити, працюють люди».

Система основних електрозахисних засобів для роботи з електричним обладнанням в цеху:

- ізолювальні штанги;
- ізолювальні кліщі;
- електровимірювальні кліщі;
- показчики напруги;
- діелектричні рукавички;
- інструмент з ізолювальним покриттям;
- діелектричне взуття;
- сигналізатори напруги;
- захисні огороження (щити, ширми);
- переносні заземлення;

В аварійному режимі занулення з автоматичним відключенням згідно ГОСТ 12.1.030-86/96.

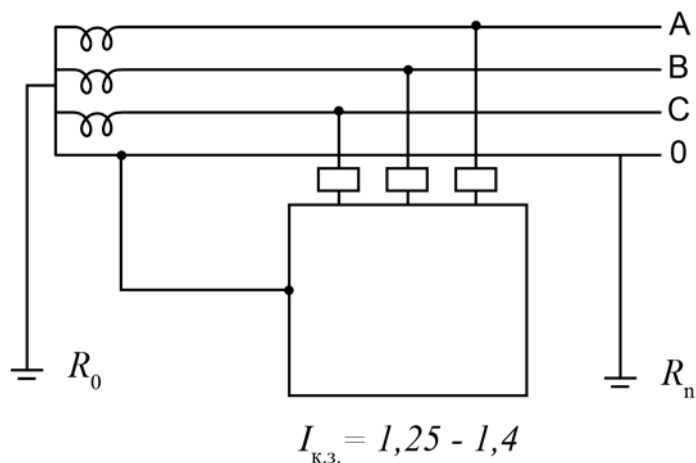


Рис. 19 Автоматичний струм захисту

8.1.4 Пожежна безпека

У цеху існує система попередження пожеж. Може горіти проводка та матеріали робочого середовища (дерев'яний стіл, папір і т.д).

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення відповідає класу пожежонебезпечної зони П-Па (ПУЕ) відповідно до ОНТП 24-86. Категорія виробництва В згідно з ДБН В.1.1-7-2002, тому що стіни приміщення цегляні.

Найбільш швидким та надійним засобом виявлення ознак займання та сигналізації про пожежу вважається автоматична установка пожежної сигналізації (АУПС), яка повинна працювати цілодобово.

Пожежні сповіщувачі полум'я.

Комбіновані сповіщувачі ІПК-1, ІПК-2, ІПК-3 контролюють відразу два чинника, що супроводжують пожежу: дим та температуру.

Пожежні сповіщувачі характеризуються: порогом спрацювання - найменшим значенням параметра, на який вони реагують; інерційністю - часом від початку дії чинника, що контролюється, до моменту спрацювання; захищеною площею - площею підлоги, яку контролює один сповіщувач. У табл. 3 наведені порівняльні характеристики сповіщувачів різних типів.

До засобів гасіння можна віднести:

Стаціонарний модульний порошковий вогнегасник САМ-3

Вогнегасник порошковий призначений для гасіння загорянь тліючих матеріалів, горючих рідин, газів і електроустановок, що знаходяться під напругою не більше 1000 В, на промислових підприємствах, складах зберігання горючих матеріалів, а також на транспортних засобах. Порошкові вогнегасники не призначені для гасіння загорянь речовин, горіння яких може відбуватися без доступу повітря (алюміній, магній та їх сплави, натрій, калій). Вогнегасник порошковий повинен експлуатуватися в умовах помірного клімату, категорії 2, тип атмосфери II по ГОСТ 15150-69 в діапазоні робочих температур від мінус 40 до плюс 50 ° С.

Порошковими вогнегасниками рекомендується обладнати легкові та вантажні автомобілі, сільськогосподарську техніку, протипожежні щити на хімічних об'єктах, у гаражах, майстерень, офісах, готелях і квартирах. Не слід використовувати порошкові вогнегасники для гасіння обладнання, яке може

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

вийти з ладу при попаданні порошку (ЕОМ, електронне обладнання, електромашини колекторного типу і т. Д).

Переносний вогнегасник вуглекислотний ОУ-3

В якості вогнегасної речовини застосовується діоксид вуглецю (CO_2), при переході вуглекислоти з рідкого стану в газоподібний відбувається збільшення її обсягу в 400-500 разів, супроводжуване різким охолодженням до температури -72°C і часткової кристалізацією.

Ефект вогнегасіння досягається двоюко: зниженням температури вогнища загоряння нижче точки займання, і витісненням кисню із зони горіння негорючим вуглекислим газом.

Для захисту персоналу від високих температур ставляться огорожувальні пристрої, термоізоляційне покриття, пристрої автоматичного контролю, сигналізації й дистанційного керування.

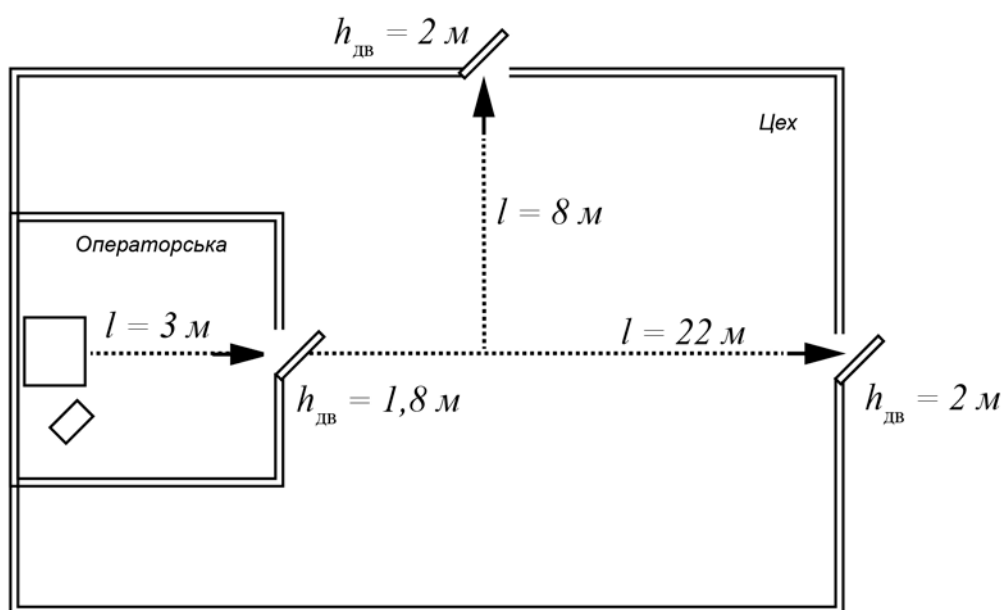


Рис.20 Схема евакуації

Висновки

При виконанні дипломного проекту розглянуто процес керування зоною гартування у виробництві технічного вуглецю. Розроблена схема автоматизації технологічного процесу отримання аерозолі технічного вуглецю. Створені принципова електрична схема дистанційного керування електричними двигунами та монтажно-комутаційна схема до системи дистанційного керування та технологічних блокувань. Розроблена математична модель зони гартування як об'єкта керування. Визначені передавальні функції та перехідні характеристики за каналами керування та збурення. Встановлені параметри налаштування регулятора та досліджено допущення про тип впливу представлення втрат на динамічні характеристики технологічного об'єкту керування.

В розділі охорона праці проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів, присутніх на виробництві, таких як: виробничий шум, освітлення, електронебезпека та пожежна безпека.

При виконанні дипломного проекту та оформленні проектної документації застосовано програмні середовища: MS Office 2010, MS Visio 2010, MathCAD 15, MatLab 2017, SISOTool.

					ДП ЛА-зг61-1.00.01.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Цеханович М. С. Производство и особенности применения сырья для получения технического углерода: Журнал хим. общ. имени Д. И. Менделеева Том LI №4 / М. С. Цеханович - Издательство рос. хим. общ. им. Д. И. Менделеева, – 2007. – 156 с.
2. Carbon Black Market Analysis And Segment Forecasts To 2022. Grand View Research, Inc. San Francisco, CA USA, 2019. – 45 с.
3. Ивановский В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты: уч. пос./ В. И. Ивановский – Омск: ОАО «Техуглерод», 2004. – 228 с.
4. Зуев В. П. Производство сажи / В. П. Зуев, В. В. Михайлов. – М.: Издательство «Химия», 1965. – 328 с.
5. Бондаренко Б.И. Альбом технологических схем и процессов переработки нефти и газа / Б.И. Бондаренко – М.: Издательство «Химия», 1983. –128 с.
6. Орлов В.Ю. Производство и использование технического углерода для резин / В. Ю. Орлов, А. М. Комаров, Л. А. Ляпина – Ярославль: Издательство Александр Рутман, 2002. – 512 с.
7. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади : Навч. посіб. для курс. проектування / М.В. Лукінюк – К.: "ПОЛІПАРНАС", 2002. – 257 с.
8. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.
9. Лукінюк М.В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами: У 2 кн.: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., / М. В. Лукінюк – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 336 с.
10. Бабіченко А.К., Тушинський В.І., Михайлов В.С. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / За заг. ред. Бабіченка А.К.: Навч. посібник. - Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – 470 с.

11. Лукінюк М. В. Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології – 2019: Матеріали VI Міжнар. Наук.-практ. Конф. Молодих учених, аспірантів і студ. (АКІТ – 2019) / М. В. Лукінюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Видавництво «Політехніка», 2019. – 144 с.
12. Клюев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский – М.: Энергия, 1980. – 512 с.
13. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студ. вищ. навч. закл. / Ю. О. Остапенко – К.: Задруга, 1999. – 424 с.
14. Плановский А. Н. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии: учебник для вузов / А. Н. Плановский, П. И. Николаев – М.: Издательство «Химия», 1987. – 496 с.
15. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин – М.: Издательство «Химия», 1973. – 752 с.
16. Гюльмисарян Т. Г. Энерготехнологический аспект совершенствования производства технического углерода: научно-технологический журнал «Технологии нефти и газа» / Т. Г. Гюльмисарян – М.: Издательство «Международный центр науки и технологий «ТУМА ГРУПП», №6, 2010. – 64с.

Позиція на схемі	Назва технологічного параметра	Середовище і місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Кількість	Завод-виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-1	Витрата	Трубопровід природного газу	130 м³/год	Трубопровід 51	Діафрагма камерна, $P_y = 1,6\text{МПа}$, $D_{\text{тр}} = 80\text{мм}$	ДКС1,6-80	6	ВАТ «Промприлад», м. Івано-Франківськ
2-1		Трубопровід сировини		Трубопровід 50	Діафрагма камерна, $P_y = 1,6\text{МПа}$, $D_{\text{тр}} = 7\text{мм}$	ДКС1,6-75		
3-1		Трубопровід повітря високого тиску	1600 м³/год	Трубопровід 52	Діафрагма камерна, $P_y = 1,6\text{МПа}$, $D_{\text{тр}} = 100\text{мм}$	ДКС1,6-100		
5-1		Трубопровід повітря низького тиску		Трубопровід 53				
9-1								
8-1		Трубопровід очищеної води		Трубопровід 54				
1-2		Витрата	Трубопровід природного газу	130 м³/год	Місцевий	Дифманометр без шкальний з квадратичною функцією перетворення; $\Delta P_{\text{max}} = 40\text{кПа}$; клас точності 1; $P_{\text{вих}} = 20 \dots 100\text{кПа}$		
2-2	Трубопровід сировини							
3-2	Трубопровід повітря високого тиску		1600 м³/год					
5-2	Трубопровід повітря низького тиску							
6-1	Реактор							
8-2	Трубопровід очищеної води							
9-2	Трубопровід повітря низького тиску							
1-3	Витрата	Трубопровід природного газу	130 м³/год	Щит керування	Прилад вторинний пневматичний показу вальний реєстру вальний зі станцією керування $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100\text{кПа}$	ФК0071	3	Завод "Тизприбор", м.Москва
2-3		Трубопровід сировини						

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ЛА-зг61-1.00.01.000.ПЗ

1	2	3	4	5	6	7		9
3-3		Трубопровід повітря високого тиску	1600 м ³ /год					
2-5				Щит керування	Реле переключання	ПП 2.5	2	ВО “Теплоприбор” м. Рязань
3-5								
1-5	Витрата	Трубопровід природного газу	130 м ³ /год	Трубопровід 51	Регулюючий клапан з виконавчим механізмом $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100\text{кПа}$	МИМ-к ПОУ 25ч30нж	5	АТ “Київпроарм” м. Київ
2-6		Трубопровід сировини		Трубопровід 50				
3-6		Трубопровід повітря високого тиску	1600 м ³ /год	Трубопровід 52				
7-2		Трубопровід повітря низького тиску		Трубопровід 53				
11-2		Трубопровід очищеної води		Трубопровід 54				
10-1	Температура	Повітропідігрівник	250°С	Повітропідігрівник повітря високого тиску	Термопара хроміль-алюмініюва $t = -50 \dots 1000^{\circ}\text{C}$	ТХА-1-23-к	1	“Тера-автоматика” м. Чернігів
12-1		Трубопровід очищеної води		Трубопровід 54	Термопара хроміль-алюмініюва $t = -40 \dots 800$	ТХА-1-3В	8	
12-2		Повітропідігрівник		Трубопровід на колектор з повітропідігрівника				
12-3		Повітропідігрівник		Вихід з колектора				
13-1		Трубопровід техн. вуглецю		Трубопр., до циклону				
13-2				Трубопр., до фільтрів				

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ЛА-зг61-1.00.01.000.ПЗ

Арк

75

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13-3	Температура	Трубопровід техн. вуглецю	250°C	Трубопр., на скидання	Термопара хроміль-алюмініюва $t = -40 \dots 800$	ТХА-1-3В	8	“Тера-автоматика” м. Чернігів
13-4				Трубопровід, до циклону				
16-1								
10-2	Витрата	Повітровідігрівник		Щит керування	Автоматичний показувальний і реєструвальний вторинний прилад, $I_{\text{вх}}=0\dots 5 \text{ мА},$ $4\dots 20 \text{ мА},$ НСХ перетворювачів: термоелектричних – В, К, L, S, опору – 50П, 100П, 50М, 100М	ДИСК-250	2	ЗАТ «Промислова група „Метран”», м. Челябінськ
16-2	Температура							
4-1	Температура	Реактор		Камера реакції	Радіаційний пірометр	ТЕРА-50	1	“Тера-автоматика” м. Чернігів
7-1 8-3	Витрата	Трубопровід повітря низького тиску	1600 м ³ /год	Щит керування	Панель управління $P_{\text{вх}} = 20 \dots 100\text{кПа}$	ПП 12-2	7	ООО “Таурус” м. Тольяті
		Трубопровід очищеної води						
10-3	Температура	Повітропідігрівник	250°C					
11-1	Витрата	Трубопровід очищеної води	1600 м ³ /год					
16-3	Температура	Трубопровід техн. вуглецю	250°C					
22-3 23-3	Витрата	Трубопровід техн. вуглецю	1600 м ³ /год					

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ЛА-зг61-1.00.01.000.ПЗ

Арк

76

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14-1 15-1	Тиск	Трубопровід техн. вуглецю	200 атм.	Трубопр., до циклону	Вимірювальний перетворювач, Рдоп.мах = 100 кПа, граничнодопустима похибка ±0,25%, Івих.= 4..20 мА	САФІР22 ДИ- 2110		ВАТ “Промпри- лад”, м. Івано- Франківськ
				Трубопр., до фільтру				
17-1 18-1	Температура		250°C	Трубопр., до циклону				
				Трубопр., до фільтру				
20-1	Витрата		1600 м³/год	Трубопр., до фільтру				
22-1								
23-1								
20-2	Те саме	Те саме	1600 м³/год	Те саме	Потенціометр стрілочний	МТМ-310	3	ООО “Таурус” м. Тольяті
22-2								
23-2								
14-2 17-3 18-3	Витрата	Трубопровід технічного вуглецю		Щит керування	Регістратор паперовий 3-х канальний	РМТ-49 ДМ/3	3	“ЕЛЕМЕР” м. Зеленоград
13-5	Те саме	Те саме		Щит керування	Регістратор паперовий 6-ти канальний	КСПУ-032-01	1	ООО “ЛПЗ” м. Львів
19-2				Щит керування	ПІД-регулятор багатофункціональний	Реміконт Р- 130	1	“ЕЛЕМЕР” м. Зеленоград

					ДП.ЛІА-зг61-1.00.01.000.ПЗ	Арк
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ЕЛЕКТРОАПАРАТИ

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SB1...S B14	Витрата	Вентилятор		Щит керування	Кнопка керування	XB2-BA31	14	ВО "Електро- прибор" м. Чебоксари
МП1... МП7	Те саме	Те саме		Місцевий	Пускач магнітний не реверсивний	ПМЕ-222	7	ПО "ЕТАЛ" м. Кіровоград
HL1... HL11 HL12 HL14 HL16 HL18 HL20 HL22 HL24	Те саме	Те саме		Щит керування	Лампа електрична сигнальна зелена	8LP2TILM3P	18	Трест «Променерго- автоматика», м. Київ

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.ЛА-зг61-1.00.01.000.ПЗ

Арк

78

1	2	3	4	5	6	7	8	9
HL13	Те саме	Те саме		Щит керування	Лампа електрична сигнальна червона	8LP2TILM4P		Трест «Променерго- автоматика», м. Київ
HL15								
HL17								
HL19								
HL21								
HL23								
HL25								

					ДП.ЛА-зг61-1.00.01.000.ПЗ	Арк
						79
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця показників якості технічного вуглецю ПрАТ «КЗТВ»

Додаток 1

№	Найменування показників якості	Марки технічного вуглецю												Методики ASTM
		N220	N234	N326	N330	N339	N347	N375	N539	N550	N650	N660	N772	
1	Число адсорбції йоду, г/кг	121±5	120±5	82±5	82±5	90±5	90±5	90±5	43±5	43±5	36±5	36±5	30±5	D1510
2	Число абсорбції масла, см ³ /100г	114±5	125±5	72±5	102±5	120±5	124±5	114±5	111±5	121±5	122±5	90±5	65±5	D2414
3	Значення РН	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	7÷10	D1512
4	Втрати при нагріванні, %, не більше	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	D1509
5	Зольність, %, не більше	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	D1506
6	Залишок на ситі, 45 мкм (сито №325), мг/кг, не більше	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	D1514
7	Вміст сірки, %, не більше	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	D1619
8	Коефіцієнт пропускання толуольного екстракту, %, не менше	75	75	85	85	70	80	70	85	85	80	75	80	D1618
9	Міцність окремих гранул, г	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	10÷50	D5230
10	Насипна щільність, кг/м ³ , не менше	330	310	410	350	320	310	330	340	330	340	390	480	D1513
11	Вміст пилу, %, не більше: - в хоппері - в м'якій тарі	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	7 15	D1508

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛА-зг61-1.00.01.000

Арк.